

Teemu Turtiainen

# LVI-suunnitelmien tarkastustoiminta

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Toukokuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  2.5.2012	
<b>Tekijä</b>  Teemu Turtiainen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Talotekniikan koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b>  LVIA-suunnitelmien tarkastustoiminta			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia sekä kehittää LVIA-suunnitelmien tarkastustoimintaa suunnittelu- toimistossa. Suunnittelutoimistolle tuli kehittää uusi tarkastuslomake. Lisäksi olemassa olevien tarkastus- listojen sisältöä oli kehitettävä. Suunnittelutoimiston käyttämän suunnitteluohjelman ominaisuuksien mahdollisesta hyödyntämisestä tarkastustoiminnassa oli otettava selvää.</p> <p>Opinnäytetyössä haastateltiin LVIA-alan ammattilaisia sekä suunnittelu- että muilta toimialoilta. Suunni- telmien tarkastustoimintaa kehitettiin haastatteluissa esille tulleiden yleisimpien LVIA-suunnitelmien virheiden sekä esimerkkikohteesta tehdyn tarkastuksen perusteella. Opinnäytetyössä perehdyttiin LVIA- järjestelmien mitoituksen perusteisiin sekä LVIA-suunnitteluprojektin kulkuun.</p> <p>Suunnittelutoimiston LVIA-suunnitelmien tarkastustoimintaa onnistuttiin kehittämään sekä toimeksian- non mukaiset asiakirjat saatiin valmiiksi. Suunnitteluohjelman ominaisuuksia opittiin hyödyntämään aikaisempaa tehokkaammin suunnitelmien tarkastuksessa. Kehitetystä tarkastustoiminnasta on hyötyä suunnittelutoimistolle sekä suunnitelmien tilaajalle että suunnitelmia käyttäville tahoille. Suunnittelu- toimistolle aiheutuu kustannuksia reklamaatioista sekä suunnitelmien myöhästymisestä. Tarkastustoi- minnan kustannukset suunnittelutoimistolle ovat noin 15 % säästöistä. Kustannussäästöjä aiheutuu myös tilaajalle sekä urakoitsijoille.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  LVI-suunnittelu, tietokoneavusteinen suunnittelu, LVI-järjestelmät, laadunvarmistus, laadunvalvonta, automaattiosuunnittelu			
<b>Sivumäärä</b>  57 s.	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>  <a href="http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076757">http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076757</a>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>  			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Martti Veuro		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Optiplan Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  2 May 2012	
<b>Author</b>  Teemu Turtiainen		<b>Degree programme and option</b>  Building services	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Inspection of HVAC and building automation plans			
<b>Abstract</b>  <p>The objective of this Bachelor's thesis was to study and develop the inspection of HVAC and building automation plans in an engineering office. Another objective during the thesis process was to develop a inspection form and a check list for the use of the office. Also I had to investigate how to improve the use of the engineering software's features in the inspection procedure.</p> <p>The most important method used in this Bachelor's thesis was interviewing professionals from HVAC and building automation. Professionals interviewed were planners, teachers and experts. The inspection of plans was developed based on design errors that came up in the interviews and also by inspecting plans of an illustration building. Basis of sizing of HVAC and building automation systems and the whole planning process were also a part of this thesis.</p> <p>As a result of this thesis the inspection of HVAC and building automation plans in the engineering office was developed to a new level. The documentation commissioned by the office was completed as requested. Use of the engineering software's features in the inspection procedure advanced to higher level than what it was before. The generated inspection has benefits to engineering office, constructor, contractors and end users. Expenses to engineering office results from reclamations and penalties for delays. Costs of the inspection process to the engineering office are about 15 % of the savings. Constructor and contractors also save in costs because of the inspection procedure.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  HVAC planning, HVAC systems, computer-aided design, quality control, quality assurance, automation planning			
<b>Pages</b>  57 p.	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>  <a href="http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076757">http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076757</a>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>  			
<b>Tutor</b>  Martti Veuro		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Optiplan Oy	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	TARKASTUSTOIMINNAN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET.....	2
3	YLEISIMMÄT VIRHEET LVIA-SUUNNITELMISSA .....	4
3.1	Yleiset virheet .....	4
3.2	Maanrakennus.....	6
3.3	Lämmitysjärjestelmät .....	6
3.4	Vesi- ja viemärijärjestelmät.....	7
3.5	Ilmastointijärjestelmät .....	8
3.6	Jäähdytysjärjestelmät.....	9
3.7	Rakennusautomaatiojärjestelmät .....	10
4	TARKASTUSTOIMINTA .....	10
4.1	Perusteet.....	11
4.1.1	Projektin lähtötiedot.....	11
4.1.2	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät .....	12
4.1.3	Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	15
4.1.4	Ilmastointijärjestelmät.....	16
4.1.5	Rakennusautomaatiojärjestelmät .....	18
4.2	Vaiheet.....	18
4.2.1	Lähtötiedot ja mitoitusperusteet.....	18
4.2.2	Tekniset yksityiskohdat .....	23
4.2.3	Piirustusmerkinnät .....	23
4.2.4	Suunnitelmien yhteensopivuus .....	24
4.2.5	Ohjelmalliset tarkastukset.....	27
4.3	Tarkastusohjeet .....	30
4.3.1	Yhteiset .....	30
4.3.2	Maanrakennus .....	30
4.3.3	Lämmitysjärjestelmät.....	32
4.3.4	Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	36
4.3.5	Ilmastointijärjestelmät.....	38
4.3.6	Jäähdytysjärjestelmät .....	41
4.3.7	Rakennusautomaatiojärjestelmät .....	43
4.4	Edut ja haitat .....	45

5	TARKASTUSTOIMINNAN TESTAUS.....	45
5.1	Kuvaus kohderakennuksen LVIA-järjestelmistä.....	46
5.1.1	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät .....	46
5.1.2	Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	47
5.1.3	Ilmastointijärjestelmät.....	48
5.1.4	Rakennusautomaatiojärjestelmät .....	50
5.2	Kohderakennuksen suunnitelmista löytyneet puutteet .....	50
5.2.1	Yhteiset piirustukset.....	50
5.2.2	Maanrakennus .....	50
5.2.3	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät .....	51
5.2.4	Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	51
5.2.5	Ilmastointijärjestelmät.....	52
5.2.6	Rakennusautomaatiojärjestelmät .....	53
5.2.7	Suunnitelmien yhteensopivuus .....	53
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	54
	LÄHTEET .....	56

## 1 JOHDANTO

Optiplan Oy on kokonaissuunnitteluun erikoistunut rakennussuunnittelutoimisto, jonka toimialoina ovat Asuminen, Toimitilat ja Korjausrakentamispalvelu. Yrityksellä on toimistot Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Optiplanilla tuotetaan kaikki rakennuksen suunnitteluun liittyvät palvelut hankkeen alusta loppuun asti. Optiplan Toimitilat, joka on toimeksiantajana tässä opinnäytetyössä, keskittyy toimitilarakentamiseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kehittää LVIA-suunnitelmien tarkastustoimintaa Optiplanin Toimitilasuunnittelussa uudisrakennuskohteissa. LVIA-suunnitelmat koostuvat lämpö-, vesi-, ilma- ja automaatio-suunnitelmista. Suunnitelmia ei tällä hetkellä tarkasteta yhtenäisellä tavalla. Työn tarkoituksena on kehittää olemassa olevien tarkastuslistojen sisältöä ja luoda tarkastuslomake, jonka avulla LVIA-suunnitelmien tarkastustoiminnasta saadaan yhtenäistä ja sujuvampaa. Suunnitelmien tarkastus sijoittuu rakennushankkeessa osittain jo ennen suunnittelutyön aloittamista. Suurin osa tarkastuksista tehdään kuitenkin ennen suunnitteludokumenttien lähettämistä urakkalaskentaan. Tämän seurauksena tarkastukseen ei saisi kulua liikaa aikaa, koska tässä vaiheessa projektia on yleensä kiire. Tarkastustoiminnan tavoitteena on parantaa LVIA-suunnitelmien oikeellisuutta sekä vähentää niissä esiintyviä suunnitteluvirheitä.

Opinnäytetyössä käydään läpi LVIA-suunnitelmissa esiintyviä yleisimpiä virheitä ja niiden perusteella mietitään, miten ja mitä suunnitelmista tulisi tarkastaa, jotta nämä virheet löydettäisiin jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Virheiden kartoittamiseksi on käyty keskusteluja Optiplanin henkilökunnan, NCC Rakennus Oy:n asiantuntijan ja MAMK:n opettajien kanssa sekä tarkastettu suunnitelmien tarkastusvaiheessa olevaa esimerkkikohdetta. Myös aikaisemmista kohteista on suunnitelmia läpikäymällä kerätty virheitä. Opinnäytetyössä tarkastustoiminta on jaettu suunnittelun eri vaiheissa tarkastettaviin asioihin. Tarkastuksen sisältöä on käyty läpi järjestelmäkohtaisesti. Tarkastustoimintaa käsitellään käyttäen MagiCAD-suunnitteluohjelman versiota 2010.11. Kehitettyä tarkastustoimintaa on myös testattu esimerkkiprojektin avulla.

## 2 TARKASTUSTOIMINNAN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

Suunnitelmat tulee tarkastaa, koska rakennusvalvontaviranomaisilla ei ole suunnitelmien tarkastusvelvollisuutta, vaan suunnittelijan on itse vastattava suunnitelmistaan (Räisä 2012). Toisena perusteena suunnitelmien tarkastukselle ovat suunnitelmissa olevat suunnitteluvirheet ja niistä seuraavat ongelmat. Osa näistä virheistä huomataan jo työmaavaiheessa ja ne pystytään korjaamaan, mutta osaa virheistä ei huomata edes rakentamisen aikana, vaan ne jäävät haittaamaan rakennuksen käyttöä. Suunnittelijoiden opastamisesta ja valvonnasta huolimatta melkein kaikista suunnitelmista havaitaan suunnitteluvirheitä, jotka paljastuvat pahimmillaan vasta toimintakokeissa (Sjögren 2010, 7). Tilaajalle nämä virheet ovat erityisen kiusallisia, koska niistä aiheutuu lisäkustannuksia; joko lisä- ja muutostöinä tai sitten rakennuksen virheellisestä toiminnasta johtuen. Sjögren (2010, 5) toteaa: ”Uudisrakennuskohteissa LVI-suunnittelun virheistä johtuvat lisäkustannukset pysyivät suhteellisen marginaalisina eivätkä kasvattaneet loppukustannuksia kuin noin 15 %.” Suunnittelun parhaana mahdollisena tavoitteena olisi kuitenkin suunnitelmien puutteettomuus, 15 % lisäkustannuksia on kuitenkin suuressa kohteessa huomattava summa rahaa, jonka määrää on mahdollista pienentää.

Kaikki projektit tulisi tarkastaa ja tarkastustoiminnan tulisi olla yhtenäistä, jotta se saataisiin osaksi jokapäiväistä työskentelyä rutiininomaiseksi toimenpiteeksi. Tarkastuksen tulisi myös olla sujuvaa ja vähän aikaa vievää, koska yleensä on kiire saada suunnitelmat lähetetyksi eteenpäin urakkalaskentaan. Tarkastajana olisi hyvä olla joku muu kuin suunnittelija itse, koska omille virheille sokeutuu (Räisä 2012). Virheiden havaitseminen etukäteen olisi varsinkin tilaajan kannalta hyvä asia, koska virhe on helppo korjata suunnitteluasiakirjoissa, mutta jo olemassa olevassa rakennuksessa korjaaminen on monimutkaisempaa.

Pietiläinen ym. (2007, 26) toteaa: ”Ongelmien syntymistä etukäteen estävät toimenpiteet vähentävät jälkikäteen tehtäviä korjauksia.” Suunnitelmien tarkastaminen olisi yksi tällainen etukäteen estävä toimenpide. Valmiiden urakkalaskentaan lähtevien suunnitteludokumenttien tarkastaminen ei kuitenkaan riitä vaan suunnittelijan tulisi tarkastella omaa työn jälkeä koko suunnitteluprosessin aikana. Suunnittelua tulisi käyttää tekemään myös heti alusta alkaen oikeilla lähtöarvoilla.

Pietiläinen ym. (2007, 16) toteaa tuotteiden laadunparantamisesta: "Laatujohtamisen käytäntöjen kehittyessä on myös huomattu, että tuotteiden laatua, virheettömyyttä ja toimivuutta on mahdoton saavuttaa panostamalla vain valmistuksen jälkeisiin tarkastus- ja korjaustoimiin." Tämä pätee yhtä hyvin LVIA-suunnitelmiin, koska ne ovat yrityksen tuote, jotka tilaaja tilaa.

Pelkkä tasopiirustusten visuaalinen tarkastelu ei ole riittävä toimenpide. Suunnitelmat voivat olla ulkoasultaan siistit ja laadukkaan näköiset, mutta mitoituksissa voi olla puutteita. Mitoituksen puutteita ei visuaalisesti tarkastettaessa havaita kovinkaan luotettavasti. Suunnitelmien visuaalisen tarkastuksen lisäksi tulisi myös tarkastella suunnitteluohjelman ja suunnittelijan tekemiä laskelmia ja etsiä niistä mitoitusvirheitä. Hyvänä esimerkkinä näistä virheistä voisi olla pumpun nostokorkeuden määrittäminen. Suunnitteluohjelma antaa verkostolle jonkin lasketun painehäviön, mutta suunnittelija on voinut epähuomiossa piirtää osan verkoston nousulinjasta putkikoon lukitus päällä. Tämän seurauksena ohjelma ei putkikokoja mitoittaessaan vaihda kyseisen osuuden putkikokoa. Edellä mainitut virheet voidaan löytää ainoastaan tutkimalla suunnitteluohjelman mitoistusteknisiä verkostoajoja. Niissä näkyy mm. putkiosuuksien virtaus ja painehäviötiedot. Näitä tietoja analysoimalla mitoitusvirheet on mahdollista löytää.

Suunnittelijoiden tulisi myös työskennellä entistä enemmän ryhmässä ja keskustella hyviksi todetuista suunnitteluratkaisuista. Monesti projektissa on useita eri suunnittelutoimistojen suunnittelijoita työskentelemässä, jolloin yhteistoiminta ei välttämättä toimi kovin hyvin. Ratkaisu tähän voisi olla ns. kokonaissuunnittelu, jossa rakennuksen kaikki suunnitelmat tehdään samassa yrityksessä, alusta loppuun. Valmiiksi tuttuun työkalaverien kanssa kommunikointi ja suunnitteluratkaisuista puhuminen on luontevampaa.

Rakennusautomaatiosuunnittelu eroaa siinä LVI-suunnittelusta, että LVI-suunnitelmat ovat automaatiosuunnittelun lähtötietoja. LVI-suunnitelmien luonnoksien perusteella päästään vasta suunnittelemaan LVI-laitteiden automaatiota. Rakennusautomaatiosuunnittelun haasteena on saada suunnitelmat valmiiksi samaan aikaan kuin muut suunnitelmat.



Rakennusautomaatiosuunnitelmat tulisi tarkastaa aina jonkin osa-alueen valmistuttua. Kaikkien suunnitelmien valmistuttua tulisi myös tarkastaa kokonaisuus ja kaikki osa-alueet uudestaan sekä ennen suunnitteludokumenttien eteenpäin lähetystä tulisi mahdolliset ristiriitaisuudet käydä läpi LVI-, sähkö- ja automaatiosuunnittelijan yhteistyöllä. (Rinamo 2012.)

Suunnitelmien tarkastustoiminnan parhaana mahdollisena tavoitteena olisi saada kaikki puutteet ja virheet kitkettyä pois. Tämä koskee niin LVI-laitteiden laskettuja toiminta-arvoja kuin myös kuvien visuaalista ulkoasua. Urakoitsijoille ilmoitetut puhaltimien ja pumppujen mitoitus tiedot ovat hyviä esimerkkejä toiminta-arvoista, joiden oikeellisuuteen tulisi pyrkiä. Näin saataisiin LVI-laitteille lasketut energiankulutuslaskelmat oikeellisimmiksi. Tavoitteena ovat myös vähentyneet työmäärät yhtenäisellä tarkastustoiminnalla, jossa kaikki osapuolet tietävät miten edetään ja mitä jokaisen tulee tehdä. Suunnittelijat tarkastavat ensin oman työn jälkensä ja kuittaavat käyneensä kuvat läpi. Tämän jälkeen projektipäällikkö tarkastaa vielä suunnitellun kokonaisuuden ja osa-alueet pääpiirteittäin.

### **3 YLEISIMMÄT VIRHEET LVIA-SUUNNITELMISSA**

LVIA-suunnitelmien yleisimpiä virheitä on kerätty haastattelevalle Optiplanin henkilökuntaa, MAMK:n opettajia sekä NCC Rakennus Oy:n talotekniikka-asiantuntijaa. Virheitä on kerätty myös tarkastustoiminnan testauksessa läpi käydystä esimerkkirakennuksesta.

#### **3.1 Yleiset virheet**

Yleisiksi virheiksi lasketaan kaikki virheet, joita ei voida yksilöidä tietylle järjestelmälle. Eniten esille tullut puute on ollut LVI-tekniikan tilavaraukset hormoneissa. Suunnitelmissa kaikki näyttää olevan hyvin ja kaikki näyttää mahtuvan hormiin, mutta rakennettaessa näin ei kuitenkaan ole ollut. Hormeissa tulisikin huomioida putkien sekä kanavien eristykset, kannakointi ja asennettavuus. (Isotalo 2012; Räisä 2012.)

Puutteita on ollut myös muiden teknisten tilojen tilantarpeiden määrittämisessä, mm. lämmönjako- ja ilmanvaihtokonehuoneet ovat harvoin optimaalisen kokoisia rakennuksen tarpeisiin nähden; ne ovat joko liian pieniä tai suuria. (Räisä 2012.)

Rakentamista haittaava virhe on myös ollut LVI-johtojen väliset risteilyt sekä niiden asennettavuus alaslaskettuihin kattoihin. Suunnittelussa ei ole otettu toisen suunnittelijan tekemiä suunnitelmia (lämpö-, vesi ja viemäri-, ilmanvaihto-, sähkö-, rakenne-suunnitelmat) huomioon. (Isotalo 2012.)

Esimerkiksi ilmanvaihtokanavat voi olla suunniteltu samalle korkeudelle tai risteämään viemärien, lämpöjohtojen tai sähkön kaapelihyllyjen kanssa. Rakennesuunnittelijan suunnittelemat tukirakenteet ja palkit saattavat myös olla LVI- ja sähkösuunnittelijan reititysten tiellä.

Tiedonsiirrossa suunnittelualojen ja suunnittelijoiden välillä on myös parannettavaa, eli LVI:stä sähkölle, sähköstä automaatiolle ja LVI:stä automaatiolle. Suunnitelmissa on usein ristiriitoja toistensa kanssa. Arkkitehdin ja toisten suunnittelijoiden tekemiä päivityksiä suunnitelmiin ja pohjapiirustuksiin ei aina huomata huomioida kaikissa suunnitelmissa muutoksen edellyttämällä tavalla. (Isotalo 2012.)

Ongelmia on myös tiedonsiirrossa suunnittelijoiden kesken, jotka suunnittelevat eri LVI:n osa-alueita. Tiedonsiirron parantamiseen on Optiplanilla panostettu; suunnittelijat keskusteleval toistensa kanssa pikaviestinohjelmaa käyttäen ja ongelmia ratkotaan yhteisissä tietokoneen välityksellä tapahtuvissa palaverissa. Kokonaissuunnitteluhankkeissa, joissa kaikki suunnitelmat tehdään samassa yrityksessä, on myös mahdollista hakea toisen suunnittelijan suunnitelmat referenssikuvaksi suunnitteluohjelmaan ja verrata niitä omiin suunnitelmiin. LVI-laiteluettelo on myös kaikkien suunnittelijoiden saatavilla käytettäessä samaa suunnittelutoimistoa.

Tilaajan vaatimusten sekä muiden suunnittelun lähtöarvojen huomioinnissa on myös ollut puutteita. Järjestelmät tulisi mitoittaa tilaajan kanssa ennalta sovittujen mitoitusperusteiden mukaisesti. Esimerkkinä tästä voisi olla vaikka lämpöjohtojen mitoitus käyttäen suurinta sallittua kitkapainehäviötä. On sovittu, että mitoitetaan 50 Pa/m kitkapainehäviön mukaisesti, mutta suunnittelijaa informaatio ei tavoita ja hän mitoittaa putket 100 Pa/m perusteella. Kojoiden, laitteiden ja putkistojen mahdollinen ylimitoitus on myös sovittava etukäteen tilaajan edustajan kanssa. Kaikkien rakennuksessa esiintyvien putkistojen putkimateriaalit olisi oltava tilaajan kanssa ennalta sovitun mukaiset. Rakennusautomaation kenttälaitteiden eli säätimien ja mittausantureiden

määristä ja sijoituksista on keskusteltava tilaajan kanssa niitä suunniteltaessa. Suunnittelun lähtöarvot tulisi myös selvittää ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Lähtöarvoja ovat mm. rakennuspaikan asettamat vaatimukset, mitoitusulkolämpötila, kunnallistekniikan liitoskohtatiedot, lämmönmyyjän ilmoittama kaukolämmön käytävissä oleva paine-ero ja kaukolämmön liitospaikka. (Isotalo 2012.)

Piirustusluettelon vastaavuudessa suunnitteludokumenttien nimiöihin on löytynyt puutteita. Piirustusnumerot tai tunnukset ovat poikenneet toisistaan, jolloin aiheutuu sekaannusta suunnitelmia tulkitsevalle. LVI-laiteluettelossa ja LVIA-työselityksessä on myös löytynyt puutteita ja ristiriitoja muihin suunnitelmiin. Laiteluettelon tulisi olla lähes virheetön, koska se on yksi rakennusautomaatiosuunnittelun lähtötiedoista.

### **3.2 Maanrakennus**

Asemapiirustuksessa on ollut puutteita kiinteistön padotuskorkeuden merkitsemisessä. Viemäreiden kallistuksia on myös jäänyt merkitsemättä asemapiirustukseen (Räisä 2012). Muita asemapiirustuksen puutteita ovat vesimittarin paikan merkitseminen ja puhdistusaukon sijoittaminen perusmuurin lävistäviin viemäriputkiin. Kunnallistekniikan liitoskoroissa ja -kohdissa on myös havaittu poikkeamia liitoskohtalausuntoon. Maahan sijoitettavat viemärit eli sadevesi-, jätevesi- ja perusvesiviemäriputket saattavat joissain kohdissa mennä ristiin keskenään tai muiden jo olemassa olevien kaapelien tai putkistojen kanssa. Viemäreiden putkikoon rajoituksia maassa olevissa putkissa ei aina ole huomioitu (Ylikauppila 2012).

Pohjaviemärisuunnitelmissa puutteita on ollut puhdistusaukkojen sijoituksessa alapohjan alapuolisissa viemäreissä. Yleensä puhdistusaukkoja on liian harvassa. Pohjaviemäreissäkin on esiintynyt liian pieniä viemäriputkikokoja. Pohjaviemäreissäkin viemäriputken kallistukset jäävät usein merkitsemättä. Pumppaamoissa sekä erotinkaivoissa on ollut puutteita niiden tuuletusviemäröinnissä ja mitoituksessa.

### **3.3 Lämmitysjärjestelmät**

Lämmityksen kytkentäkaavioissa on varsinkin kaukolämpöverkkoon liitettävissä rakennuksissa ollut virheitä lämmönsiirtimien, pumppujen ja säätöventtiilien mitoituksessa. Lämmönsiirtimen ja pumpun virtaamat saatetaan ilmoittaa toisistaan poik-

keaviksi. Säästöventtiilien mitoituksessa ongelmia on esiintynyt todellisen käytettävissä olevan paine-eron huomioimisessa. Venttiilit on mitoitettu käyttäen 60 kPa:n vähimmäispaine-eroa, jolloin niiden toiminta todellisissa paineolosuhteissa ei välttämättä ole toivotun mukainen. Lämmönjakohuoneen sijoitus on usein ollut huono kaukolämpöverkkoon liitettävyyden kannalta. Tavoitteena olisi sijoittaa lämmönjakohuone mahdollisimman lähelle liitospaikkaa. (Tuunanen 2012.)

Tasopiirustusten piirustusmerkinnät ovat usein olleet puutteellisia. Tarvittavia merkintöjä on puuttunut tai merkinnät ovat olleet lukemiskelvottomia. Tasopiirustuksista on puuttunut linjasäästöventtiilien, lämmityspatterien sekä putkikokojen merkintöjä. Lämmityspatterien venttiilien tyyppimerkinnöissä on ollut virheitä. Jäähdytyslaitteella varustettujen tilojen lämmityspatterien toimilaitteellisia patteriventtiilejä on epähuomiossa laitettu kaikkien muidenkin tilojen pattereihin. Muita esiintyneitä puutteita ovat olleet sulkusäätö- sekä linjasäästöventtiilien määrä ja niiden sijoitus. Lämmitysputkistoa ei ole saatu tasapainoon suunnitteluohjelmalla, koska linjasäästöventtiilit ovat olleet joko huonoissa paikoissa tai niitä on ollut liian vähän. Sulkuventtiilejä on havaittu olevan liian vähän, eikä putkirikon sattuessa vesivuotoa saada loppumaan kuin sulkeamalla putkiston pääsulkuventtiili. Ilmanvaihtokonehuoneen ja erityisesti sprinklerihuoneen lämmitys pääsee usein unohtumaan, erityisesti sprinklerihuoneesta tästä voi aiheutua vakavia seurauksia.

Lämmitysverkoston kiertovesipumppujen nostokorkeuksien laskennassa tapahtuu usein virheitä. Varsinkin säästöventtiilien huomiointi oikein pumppujen nostokorkeuksiin on aiheuttanut ongelmia. Puutteita on ollut myös muiden putkistovarusteiden huomioimisessa.

### **3.4 Vesi- ja viemärijärjestelmät**

Vesijohdoissa ongelmana on erityisesti korkeissa rakennuskohteissa vesijohtoverkoston staattisen paine-eron riittävyys. Rakennuksen ylimpien kerroksien vesipisteistä ei tule vettä riittävällä virtaamalla. Ongelma voidaan korjata lisäämällä paineenkorotuspumppu vesimittarin jälkeen. Pumpun lisäämisen seurauksena voidaan joutua lisäämään paineenalennusventtiilit rakennuksen alakerroksiin, koska niissä vesijohtoverkoston painetaso kasvaa liian korkeaksi. Ongelmat paineen riittävydessä havaittaisiin

tekemällä vesikalusteille virtaamatarkastelut, nämä jäävät kuitenkin usein kiireessä tekemättä.

Lämpimän kiertoveden virtaaman mitoituksessa on ollut puutteita, virtaama on usein ollut pienempi kuin mitä kaukolämmön mitoitusohjeissa on ohjeistettu. Kiertoveden virtaamien merkinnöissä on myös ollut puutteita tasopiirustuksissa (Räisä 2012). Lämpimän kiertoveden linjasäätöventtiilien esisäätöarvojen merkintöjä on havaittu puuttuvan tasopiirustuksista. Tasopiirustuksista puuttuu usein vesi- ja viemäriputkien putkikokomerkintöjä sekä viemärien kaltevuusmerkintöjä. Viemärien kallistukset ovat olleet vaatimuksia loivempia. Vesikalusteiden kalustetunnuksien merkintöjä on puuttunut tai ne ovat olleet ristiriidassa kalusteluettelon kanssa.

Viemäreissä puutteita on ollut ilmanvaihtokoneiden sekä muiden kondensoivien jäähdytyslaitteiden kondenssivesiviemäröinnissä. Ilmanvaihtokoneiden viemäröinnissä ongelmia on myös vesilukkojen kuivumisesta aiheutuissa hajuhaitoissa. Viemäröinti tulisi järjestää siten, ettei hajuhaittoja pääse syntymään. Raitisilmakammion viemäröinnin huomioimisessa on ollut puutteita. Raitisilmakammioon pääsee sadevettä ja lunta, jotka tulisi saada viemäröityä pois. Muoviviemäriputkea käytettäessä putkien ääni- ja paloeristys pääsee unohtumaan.

Tuuletusviemärien riittävydessä ja sijoituksessa vesikatolla on havaittu puutteita. Puutteellisen tuuletusviemäröinnin seurauksena saattaa tiloissa esiintyä vesilukkojen tyhjenemisestä aiheutuvia hajuhaittoja. Vesikatolla tuuletusviemäreiden vähimmäisetäisyys jäte- ja ulkoilmalaitteista sekä kattopinnasta on ollut liian vähäinen. Viemäripisteiden tuuletusviemäröinti voidaan toteuttaa tietyin rajoituksin myös alipaineventtiilillä. Alipaineventtiilin sijoitus oikeaan korkoon (kalusteen vesilukon yläpuolelle) jää tasopiirustuksista esittämättä. (Räisä 2012.)

### **3.5 Ilmastointijärjestelmät**

Ilmanvaihdon tasopiirustuksista puuttuu usein päätelaitteiden, palopeltien ja säätöpelten tyyppimerkintöjä. Päätelaitteiden valinnassa esiintyy puutteita, usein valitaan liian pieni päätelaite suunnitellulle ilmapirrille. Liian pienestä päätelaitteesta seuraa ongelmia päätelaitteen äänitasossa ja ilmapirran tasapainotuksessa. Ilman nopeudet oleskeluvyöhykkeellä kasvavat myös liian suuriksi valittaessa liian pienet tuloilman pääte-

laitteet. Ilman suuri nopeus aiheuttaa vetohaittoja kohdehuoneessa. Palopeltien sijoituksessa ja valinnassa on ollut virheitä. Kanavaan tulee sijoittaa palopelti, aina kun se lävistää palo-osastoivan rakenteen. Kanava voidaan myös vaihtoehtoisesti paloeristää siltä osin, kun se on toisen palo-osaston alueella. Paloeristeen tai palopellin tulee olla palonkestoltaan sekä muilta vaatimuksiltaan rakennetta vastaava. Säätöpelten määrässä ja sijoituksessa on myös ollut puutteita. Säätöpeltejä tulisi olla niin, että ilmavirrat ovat tasapainotettavissa ja mitattavissa.

Muita esiintyviä puutteita ovat olleet kanavien puhdistusluukkujen sijoitus ja määrä. Puhdistusluukkuja on ollut liian harvassa, ja niiden sijoitus on ollut huono puhdistustyön sujuvuuden kannalta. Ilmanvaihdon aiheuttamat äänitasot ovat myös jääneet usein huomioimatta suunnittelussa. Suunnitelmissa ei ole huomioitu puhaltimen aiheuttamaa äänitasoa tai huoneiden äänitasoja ei ole laskettu lainkaan. Vesikatolle suunnitellut jäteilmalaitteet ovat usein suunniteltu joko liian lähelle ulkoilmalaitteita tai kattopintaa. (Räisä 2012.)

### **3.6 Jäähdytysjärjestelmät**

Jäähdytysjärjestelmissä virheitä on ollut eniten jäähdytyslaitteiden kytkentäkaavioissa: pumppujen nostokorkeuksissa, virtaamissa ja kytkennöissä sekä säästöventtiilien ja vedenjäähdytyskoneiden mitoituksessa. Vedenjäähdytyskoneiden nestejäähdyttimien putkistojen mitoituksissa on usein unohtunut nesteen puhtaasta vedestä poikkeavien ominaisuuksien huomiointi. Nestejäähdyttimiä ja lauhduttimia on sijoitettu vesikatolle niiden toiminnan kannalta haitallisiin paikkoihin. Sijoituspaikka ei saa olla notkelmassa tai muussa paikassa, jossa ilmankierto on vähäistä.

Toisiopuolen eli yleensä ilmanvaihtokoneiden ja jäähdytyspalkkien runkoputkistoissa esiintyy samoja puutteita kuin lämmitysjärjestelmienkin runkoputkistoissa. Järjestelmää ei saada tasapainotettua linjasäästöventtiilien sijoituksesta tai puuttumisesta johtuen. Sulkuventtiilejä on myös ollut liian harvassa verkoston osien suljettavuuden kannalta. Tasopiirustuksista on puuttunut linjasäästöventtiilien ja jäähdytyspalkkien venttiilien esisäästöarvoja. Muita havaittuja puutteita ovat olleet putkikokojen merkinnät sekä käytettävän putkimateriaalin oikea valinta.

### 3.7 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Rakennusautomaatiosuunnitelmissa eniten puutteita on ollut kytkentä- ja säätökaavioissa sekä laiteluetteloissa. Ongelmat aiheutuvat pääosin puutteista tai virheistä lähtötiedoissa ja suunnittelijoiden välisen tiedonkulun ongelmista sekä väärinkäsityksistä suunnittelijoiden välillä. LVI-laitteille tehdyissä säätökaavioissa ja toimintaselostuksissa on ollut ristiriitoja laitteiden suunniteltuun toimintaan ja LVI-laiteluetteloon nähden. Rakennusautomaation laiteluettelon merkinnät taas poikkeavat usein säätökaavioiden merkinnöistä. Rakennusautomaatiosuunnitelmissa on ollut myös ristiriitoja sähkösuunnitelmien kanssa. Ongelmana on myös liian kireä aikataulu, rakennusautomaatiota päästään suunnittelemaan vasta, kun LVI- ja sähkösuunnitelmia on jo tehty pitkälle. Rakennusautomaatiosuunnitelmien pitäisi kuitenkin olla valmiita samaan aikaan kuin muidenkin suunnitelmien. (Rinamo 2012.)

Rakennusautomaation tasopiirustuksista on löytynyt poikkeamia vastaavuudessa LVI- ja sähkösuunnitelmiin. Tasopiirustuksista on havaittu puuttuvan LVI-laitteille vaadittavien toimilaitteiden merkintöjä sekä muiden esim. sähkölaitteiden toimintaan vaikuttavien automaatiolaitteiden merkintöjä.

## 4 TARKASTUSTOIMINTA

Suunnitelmia tulisi tarkastaa yhtenäistä tarkastustoimintaa käyttämällä; tarkastustoitinnassa tarkastetaan suunnittelun lähtötiedot, mitoitusperusteet, piirustusmerkinnät, järjestelmien tekniset yksityiskohdat ja suunnitelmien yhteensopivuus. Suunnitelmien yhteensopivuudessa tarkastetaan ensiksi LVI-järjestelmien keskinäiset törmäystarkastelut ja sähkösuunnitelmien yhteensopivuus LVI-suunnitelmien kanssa. Siihen kuuluu myös rakennesuunnittelijalle toimitettavien reikäkuvien paikkansapitävyyden tarkastaminen. LVI-järjestelmien teknistä mitoitusta tarkastetaan kehitettyä tarkastuslomaketta käyttämällä. Lomakkeeseen liitetään MagiCADin virtausreititarkasteluja, joista poimitaan tiettyjä tietoja, joiden perusteella lasketaan järjestelmien mitoitusarvoja. Näitä arvoja verrataan laiteluetteloon ja kytkentäkaavioihin aikaisemmin laskettuihin arvoihin.

## 4.1 Perusteet

Tarkastustoiminnan perusteina ovat LVIA-suunnittelun perusteet, joihin suunnitelmien tarkastustoiminta perustuu. Perusteet tulee tietää, jotta suunnittelun pohjana käytetään oikeita peruseriäotteita. Suunnittelun perusteiden pohjalta päästään liikkeelle varsinaiseen suunnitelmien tarkastukseen.

### 4.1.1 Projektin lähtötiedot

Ennen jo varsinaisen suunnittelun aloittamista täytyy tarkastaa projektin yleiset lähtötiedot eli tekniikan tilantarpeet (lämmönjakohuone, sprinklerihuone, jäähdytyskonehuone, ilmanvaihtokonehuone ja kuilut) sekä tilaajan esittämät toiveet ja vaatimukset. Muutoksista tekniikan tilantarpeissa tulee informoida arkkitehtia, varsinkin projektin myöhäisessä vaiheessa ei tilantarpeita pitäisi joutua muuttamaan. Projektin onnistumisen ja tilaajan vaatimuksien täyttymisen kannalta on erittäin tärkeää, että suunnittelijat ovat tietoisia heti alusta alkaen tilaajan toiveista ja vaatimuksista. Edellä mainitut asiat vaikuttavat suuresti järjestelmä- ja laitevalintoihin.

Ilmanvaihtojärjestelmiä yms. suunniteltaessa on hyvin tärkeää tietää, millä perusteella ilmavirtoja käydään laskemaan. Tilojen käyttötarkoitukset vaikuttavat ilmavirtojen kautta ilmanvaihtokoneiden mitoituksiin, kanavakokoihin sekä ilmanvaihdon jäähdytys- ja lämmitystehontarpeisiin. Käyttötarkoitus vaikuttaa myös lämpöolovaatimusten kautta lämmönjakotavan valintaan. Erilaiset halli- ja myymälätilat, joissa ei tarvita niin tasaisia lämpöoloja kuin asuin- tai toimistotiloissa, pystytään lämmittämään tyydyttävästi mm. kiertoilmapuhaltimilla. Kuilujen tilantarpeeseen ilmavirrat ja lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet vaikuttavat mm. suurempina kanavina ja putkina. Tämän takia tilojen käyttötarkoitukset täytyisi saada lyötyä lukkoon jo hyvissä ajoin luonnossuunnitteluvaiheessa. Projektin alkuvaiheessa tulisi myös katsoa läpi, onko rakennettavalla tontilla olemassa olevia putkia ja kaapeleita. Jos tontilla niitä on olemassa, tulee miettiä, tarvitseeko niille tehdä jotain tai ainakin huomioida ne suunniteltaessa maan alla olevia järjestelmiä.

Varsinaisen suunnittelutyön alkaessa tulee ensiksi luoda suunnitteluohjelman projektiasetukseen rakennuksen kerrokset. Kerroksille tulee ilmoittaa korkeudet sekä yhdistää luodut kerrokset tiedostoihin, joissa on kerrosten pohjapiirustukset. MagiCAD käyttää



kerroskorkeuksia mm. viivatyypin sekä pystynousujen pituuksien määrittämiseen. Viivatyyppejä voidaan toki muuttaa jälkeenpäin, mutta väärinkäsitysten välttämiseksi on parempi laittaa kerrosten tiedot ohjelmaan kerralla oikein.

#### 4.1.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Lämmitysputkistojen mitoituksessa käytetään eri maissa useita erilaisia mitoituskriteereitä. Isossa-Britanniassa alle 50 mm teräspanputket mitoitetaan virtausnopeuksille, jotka ovat väliltä 0,75...1,5 m/s. Suuremmat eli yli 50 mm:n putket mitoitetaan käyttäen 1,25...3 m/s virtausnopeuksia. Skandinaviassa taas mitoitusperusteena on perinteisesti käytetty  $R_{\max}$  100 Pa/m. (Petitjean 2004, 38.)

Nykyisin lämmitysjärjestelmissä virtaamat ovat pienempiä kuin ennen johtuen rakennusten pienemmistä lämpöhäviöistä sekä järjestelmien suuremmista lämpötilaeroista, jotka ovat suurempia kuin jäähdytysjärjestelmien. Näiden seurauksena on perusteltua käyttää väljempää putkimitoitusta.

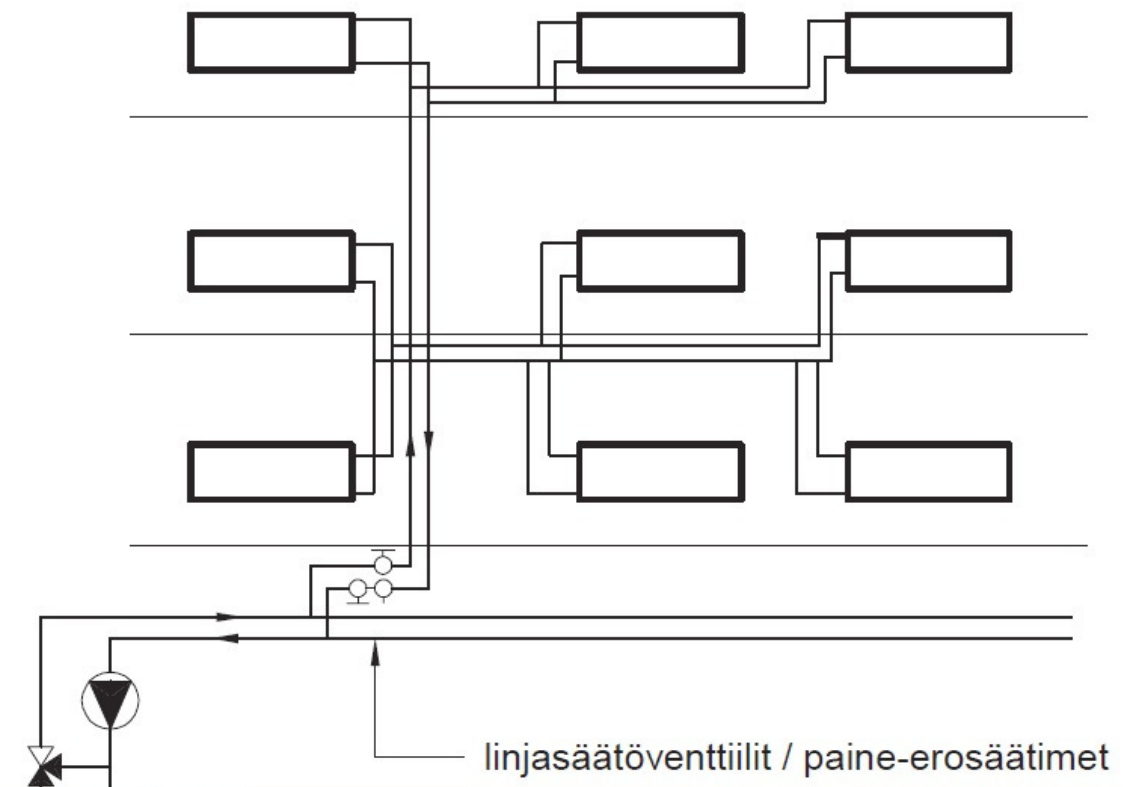
#### TAULUKKO 1. Hitsattujen teräspanputkien materiaalihintojen vertailu (Onninen Oy 2012)

Putkikoko	Hinta €/m	%-hinta-ero edelliseen kokoon
DN 40	11,20	15,8
DN 50	14,20	26,8
DN 65	18,20	28,2
DN 80	21,00	15,4
DN 100	27,40	30,5
DN 125	39,20	43,1
DN 150	40,50	3,3
DN 200	70,40	73,8

Putkikoko ei pääse kasvamaan liian suureksi investointikustannusten kannalta, vaikka käytetään  $R_{\max}$  50...75 Pa/m putkimitoitusta. Tarkastustoiminnan testauksessa käsitellyssä esimerkkiprojektissa käytettiin  $R_{\max}$  50 Pa/m putkimitoitusta patteri- ja ilmanvaihdon lämmitysverkostoissa. Patteriverkoston suurin putkikoko oli DN 50 ja ilman-

vaihdon lämmityksen DN 125, putkien materiaalihinnat ja erotus edelliseen putkikokoon on esitetty taulukossa 1. Asennuksen normituntihinnat, jotka vaikuttavat investointikustannuksiin eivät myöskään nouse turhan korkeiksi: DN 125 -putkelle 0,90 NH/m ja DN 50 -putkelle 0,60 NH/m (LVI-TU ry 2012, 102).

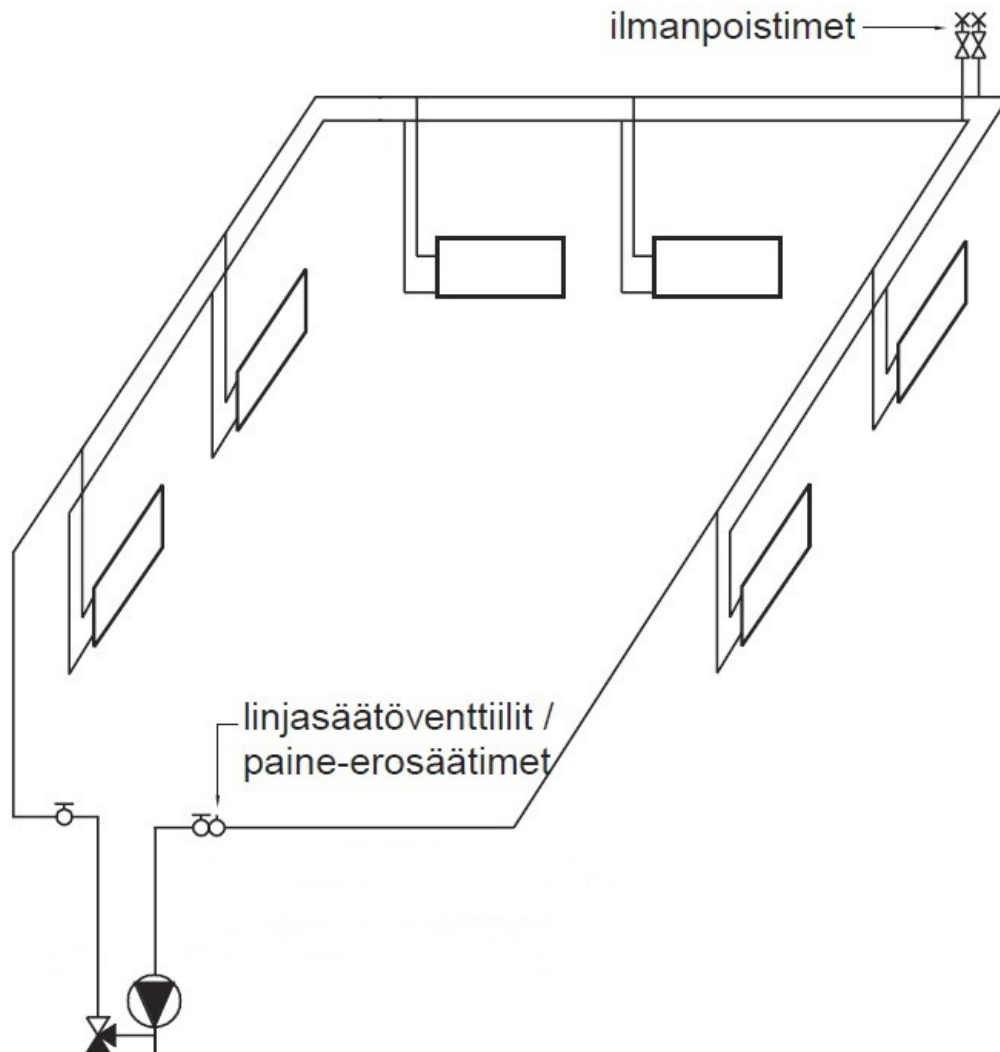
Putkiston väljemmällä mitoituksella putkistosta tulee hiljaisempi ja helpommin tasapainotettava. Putkiston painetaso on myös pienempi kuin tiukemmalla mitoituksella. Ilmauksen toimivuuden ja äänihaittojen välttämisen kannalta olisi suositeltavaa käyttää virtausnopeutta 0,3...1,0 m/s. Patteriventtiileille varataan 2...5 kPa painehäviötä ja linjasäätöventtiileille 3...5 kPa. (Senewa Oy 2002, 6.)



**KUVA 1. Periaatekuva kaksiputkijärjestelmällä toteutetusta patteriverkostosta (Senewa Oy 2002, 3)**

Periaatteena on löysä putkisto ja suuri paine-ero patteriventtiileissä. Kaksiputkijärjestelmissä (ks. kuva 1) tulisi käyttää  $R \leq 50 \text{ Pa/m}$  painehäviötä putkien mitoitukseen ja patteriventtiileille 4 kPa vähimmäispainehäviötä. Toteutettaessa patteriverkosto käännetyllä paluulla järjestelmä voidaan mitoittaa käyttäen suurempaa kitkapainehäviötä, koska verkoston tasapainottaminen on helpompaa. Patteriventtiilien minimi painehä-

viöksi voidaan valita 2 kPa ja verkoston kitkapainehäviönä voidaan käyttää  $R \approx 100$  Pa/m. (Seppänen 2001, 148.) Käännetyn paluun etuna on se, että meno- ja paluuputken putkikoot tasapainottavat verkostoa (ks. kuva 2).



**KUVA 2. Periaatekuva käännetyn paluun patteriverkostosta (Senewa Oy 2002, 4)**

Jäähdytysjärjestelmissä, joissa lämpötilaerot ovat pienempiä kuin lämmitysjärjestelmissä, käytetään tiukempaa 100 Pa/m mitoitus. Pienempien lämpötilaerojen johdosta jäähdytysjärjestelmien virtaama on suurempi kuin lämmitysjärjestelmissä vastaavilla siirrettävillä tehoilla. Suurempi virtaama tarkoittaa suurempaa putkikokoa ja suurempi putkikoko tarkoittaa korkeampia investointikustannuksia sekä suurempia tilavarauksia kuiluissa ja alaslasketuissa katoissa. Jäähdytysjärjestelmien jakojohtojen toisena mitoituskriteerinä voidaan pitää myös virtausnopeutta, joka saisi olla väliltä 0,5 - 1,0 m/s (Nuora 2008, 50).

Käytettävien nesteiden ominaisuudet tulisi myös tarkastaa, koska ne vaikuttavat tilavuusvirtoihin ja putkien painehäviöihin. Nesteiden ominaislämpökapasiteetti, tiheys ja viskositeetti muuttuvat lämpötilan mukaisesti. Lämmitysverkostossa virtaavan nesteen lämpötila on tavallisesti korkeintaan 70 °C ja jäähdytysjärjestelmissä korkeintaan 18 °C. Käytettäessä nesteiden seoksia ominaisuuksissa on vielä suurempia eroja. Veden ominaislämpökapasiteetti on noin 4,2 kJ/kg°C ja tiheys noin 1000 kg/m<sup>3</sup>, vastaavasti etyleeniglykolipitoisuudeltaan 30 % seoksen ominaislämpökapasiteetti on noin 3,7 kJ/kg°C ja tiheys 1046 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Vesijärjestelmissä tulisi käyttää jakojohdojen mitoituksessa virtausnopeutta max 2 m/s. Kytkeäntäjohtoja mitoittaessa virtausnopeus voi olla max 3 m/s. On kuitenkin muistettava, että etäisimmästäkin vesikalusteesta olisi tultava vähintään 70 % kalusteen normivirtaamasta. (D1 2007, 35.) Vesilaitos ilmoittaa vesijohtoverkoston painetason liittymiskohdassa. Painetasosta vähennetään rakennuksen korkeusasema, jolloin jäljelle jää käytettävissä oleva staattinen paine-ero. Korkeissa rakennuksissa, joissa käytettävissä oleva staattinen paine-ero on yläkerroksissa pieni, tulee käyttää paljon pienempää maksimi virtausnopeutta tai paineenkorotusta, jotta D1:n vaatimukset toteutuvat. Lämpimän veden kiertojohto mitoitetaan käyttäen virtausnopeutta 0,5 m/s (D1 2007, 13). Näin paljon pienempi mitoitusarvo johtuu siitä, että johdossa on jatkuva virtaus, joka voi edistää korroosiota. Lämpimän veden kiertojohtoon virtaama tulisi olla minimissään 30 % lämpimän veden mitoitusvirtaamasta (K1 2003, 53).

Viemäripisteiden mitoitusperusteena on se, että niiden täytyy pystyä viemäroimään 1,5-kertaisesti siihen johdettujen vesipisteiden virtaamat. Koska kaikkia viemäripisteitä ei kuitenkaan samanaikaisesti käytetä, viemäreiden mitoitusvirtaama on pienempi kuin siihen liitettyjen normivirtaamien summa, mutta ei kuitenkaan pienempi kuin siihen sisältyvän suurimman viemäripisteen normivirtaama. (D1 2007, 46.)

Yleensä kaikista merkittävin tekijä viemäreiden koon ja kaltevuuden kannalta on WC-istuim, jonka jälkeisen kytkeäntäviemärin putkikoko on DN 100, sekä se, ettei viemärin putkikokoa saa pienentää virtaussuunnassa (D1 2007, 23,47). WC-istuimen valinnassa täytyy huomioda, että pienin sallittu WC-istuimen huuhteluviesimäärä on muissa kuin

asuinrakennuksissa 6 l (D1 2007, 47). Viemärikkoon vaikuttavat mitoitusvirtaaman lisäksi käytettävä kaltevuus ja viemäriin tyyppi, eli onko kyseessä pysty- vai vaaka- viemäri. Myös viemäriputkimateriaali vaikuttaa viemäriin kokoon. Mitoitukseen vaikuttaa myös se, onko viemäri tuuletettu vai tuulettamaton. Tuuletettujen viemärien putkikoot mitoitetetaan D1:n s. 49 ja 50 diagrammeja käyttäen. Myös maata vasten olevissa kerroksissa täytyy huomioda, että pienin maahan asennettava viemäriputki saa olla kokoa DN 70 (D1 2007, 47).

Sadevesiviemäreiden mitoitusperusteena on myös mitoitusvirtaama kuten jätevesiviemäreissäkin. Sadevesiviemärien mitoitusvirtaamat lasketaan kaavalla

$$q = q_s(k_1 A + k_2 A + k_n A_n) dm^3/s \quad (1)$$

$q_s$  on mitoitus sade,  $dm^3/s/m^2$

$k_n$  on valumiskerroin osa-alueella

$A_n$  on valuma-alueen osan pinta-ala vaakasuoralle pinnalle projisoituna,  $m^2$

Mitoitussateen ja valumiskertoimen arvot löytyvät rakentamismääräyskokoelman osasta D1 sivulta 59.

Sadevesiviemärien putkikokoon vaikuttavat kaltevuus, mitoitusvirtaama ja viemärintyyppi, eli onko kyseessä vaaka- tai pystyviemäri. Rajoituksina on, että maahan sijoitettavan viemäriin vähimmäiskoko on DN 70 ja maahan sijoitettavien sadevesikaivojen jälkeen viemäriin tulee olla vähintään kokoa DN 100. Maan sisässä olevien viemärien suunnanmuutokset tulee tehdä viemärikaivoja tai tarkastusputkia käyttämällä. (D1 2007, 25.)

#### 4.1.4 Ilmastointijärjestelmät

Ilmanvaihtokanavat mitoitetetaan suurimman sallitun virtausnopeuden mukaisesti tai esimerkiksi  $R_{max} = 1 \text{ Pa/m}$  käyttäen. Suurimmat sallitut virtausnopeudet ovat yleensä runkokanavissa 4 – 8 m/s riippuen kanavakoosta ja kanavan sijainnista (ks. taulukko 2). Kerroksissa olevissa runkokanavissa ilman nopeus on yleensä korkeintaan 4 m/s (Ylikauppila 2012). Käytettäessä virtausnopeuteen perustuvaa mitoitusta kanavistosta saadaan tiukempi verrattuna 1 Pa/m kitkapainehäviö mitoitukseen. Käytettävä virtaus-

nopeus riippuu kohdehuoneiden äänitasovaatimuksista, myös ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho vaatimus asettaa rajoitteita kanaviston mitoitukselle. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 2010 mukaan koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Uusien rakentamismääräysten seurauksena tämä vaatimus tulee tiukentumaan entisestään: 1.7.2012 lähtien, jolloin D3 2012 tulee voimaan, ominaissähköteho tulee olemaan  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Virtausnopeus vaikuttaa myös kanavasta huoneeseen siirtyvän ääneen aiheuttamaan äänitasoon. Suuret virtausnopeudet yhdistettynä kanavien huonoon kannakointiin ja jäykistykseen voivat aiheuttaa kanavien seinien värähtelystä syntyvää äänihaittaa huoneessa oleskeleville.

**TAULUKKO 2. Pyöreiden peltikanavien suurimmat sallitut virtausnopeudet ja kitkapainehäviöt runkokanavissa, 33 db(A) huoneiden äänitasovaatimuksella (Sarkki ym. 2012)**

Kanavan halkaisija mm	$V_{\text{max}}$ m/s	R Pa/m
160	4	1,3
200	4	1,0
250	4	1,1
315	5	1,4
400	5	1,1
500	6	1,2
630	6	1,0
800	7	1,0
1000	7	0,8
1250	8	0,8

Ilmavirrat mitoitetaan riippuen tilaajan sisäilmastolle asettamista vaatimuksista sekä tilojen käyttötarkoitusten mukaisesti. Tilaaja voi vaatia käytettäväksi Sisäilmasto-luokitus 2008:n luokkia S1 tai S2, jolloin ilmavirrat ovat suuremmat kuin D2:n perusteella mitoitettut. Periaatteessa, ellei muuta vaadita, ilmanvaihto ja ilmavirrat tehdään D2:n perusteella. Suuremmat ilmavirrat vaikuttavat suoraan ilmanvaihtokanavien sekä ilmanvaihtokoneiden tilantarpeeseen, joka täytyy ottaa huomioon LVI-tekniikan tilantarpeita suunniteltaessa.

#### **4.1.5 Rakennusautomaatiojärjestelmät**

LVI-järjestelmien automaatio on yksi rakennusautomaatiosuunnittelun osa-alue. Rakennusautomaatiosuunnitelmat laaditaan vastaamaan LVI-suunnitelmia. Rakennusautomaatiosuunnittelijalle on kerrottava, millaisia LVI-laitteita rakennukseen on suunnitella, jotta hän osaa pääpiirteittäin suunnitella rakennusautomaatiojärjestelmän rakenteen LVI-tekniikan osalta. Rakennusautomaatiosuunnittelussa on myös huomioitava sähkösuunnitelmien asettamat automaation tarpeet, mm. huoneiden valaistuksen ohjaus. Rakennusautomaatiosuunnittelun peruseriaatteena on rakennuksen ja koko kiinteistön LVI- ja sähkösuunnitelmien kokoaminen yhdeksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi (Senewa Oy 1996, 1). Rakennusautomaatiosuunnitteluun kuuluu myös muita LVI-suunnittelusta riippumattomia osa-alueita, mm. kulunvalvonta- ja videovalvontajärjestelmät. Pienissä rakennuskohteissa rakennusautomaatiosuunnittelu perustuu yleensä pelkkien LVI-laitteiden säätö- ja ohjaustoimintoihin.

### **4.2 Vaiheet**

Suunnitelmien visuaalinen tarkastus on jaettu neljään osaan tarkastettavien osa-alueiden mukaisesti. Nämä osa-alueet ovat lähtötiedot ja mitoitusperusteet, tekniset yksityiskohdat, piirustusmerkinnät ja suunnitelmien yhteensopivuus. Visuaalisen tarkastuksen lisäksi tarkastamiseen käytetään myös MagiCADin omia tarkastustoimintoja. Ohjelmasta kopioidaan myös järjestelmien virtausteknisiä ajoja, joita analysoimalla etsitään virheitä.

#### **4.2.1 Lähtötiedot ja mitoitusperusteet**

Varsinaisen tietokoneella tehtävän suunnittelutyön alkaessa tulee asettaa järjestelmille oikeat lähtötiedot sekä mitoitusperusteet. Projektiasetukset yleensä kopioidaan työskentelyn nopeuttamiseksi mallisuunnittelupohjista. Asetukset tulee tarkastaa ja päivittää vastaamaan uuden projektin lähtöarvoja.

The screenshot shows the 'MagiCAD Room' project settings window. On the left, a tree view under 'Project:' lists 'Storeys' (Talo A through Talo F), 'Summary', 'Area methods', 'Walls', 'Windows', 'Doors', and 'Slabs'. Below this are buttons for 'New storey...', 'Delete storey', 'Copy storey...', and '3D preview'. The middle section has 'IFC Data Exchange' buttons: 'IFC Export', 'IFC Import...', 'IFC Space Update...', and 'IFC Merge Import...'. The right section is a table with 'Property' and 'Value' columns.

Property	Value
Project number:	
Project name:	
Author:	
Organization:	
Address:	
Postal code:	
City:	
Region:	
Country:	
Outside temperature:	-26.0
Default roof slab:	YP1 Yläpohja 1
Background temperature of the roof slab:	-26.0
Default floor slab:	AP1 Alapohja (maanvastainen)
Background temperature of the floor slab:	5.0
Default intermediate slab:	VP1 Välipohja 1
Automatic calculations:	Yes
Create slabs automatically:	Yes
Site coordinate latitude (WGS84):	0, 0, 0, 0
Site coordinate longitude (WGS84):	0, 0, 0, 0
Site coordinate altitude [mm]:	0
Azimuth [deg]:	0.0000
Character set:	National

### KUVA 3. MagiCAD Room -sovelluksen projektiasetukset

Lämmitysjärjestelmien lämmitystehontarpeen määrittämiseksi tulee laskea rakennukselle lämpöhäviöt. Ne voidaan laskea käyttämällä Excel-taulukoita, MagiRoomia tai jotain muuta energia- tai lämpöhäviölaskentaan soveltuvaa ohjelmaa. Lämpöhäviöiden laskentaa varten tulee selvittää rakennuksen sijaintipaikkakunnan mitoittava ulkoilmanlämpötila ja alapohjan lämpöhäviöitä laskettaessa käytettävä maanlämpötila. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot tulee selvittää rakennesuunnittelijalta. Lämpöhäviölaskennassa käytettävät pinta-alat määritellään rakennuksen sisämittojen mukaan. Nämä lähtötiedot syötetään käytettävään lämpöhäviölaskentaohjelmaan.

Käytettäessä MagiCAD Room –sovellusta tulee sen projektiasetuksiin määrittää edellä mainitut lämpöhäviölaskennan lähtötiedot. Room-projektiin (kuva 3) tulee määrittää myös rakennuksen kerrokset; missä ne sijaitsevat ja miten korkeita ne ovat. Seinien, ovien, ikkunoiden, yläpohjan ja alapohjan U-arvot tulee määrittää lämpöhäviölaskentaa varten. Rakenteiden paksuudet tulee myös syöttää ohjelmaan, jotta rakennus voidaan mallintaa oikean näköiseksi. Jäähdytystehontarpeen laskennassa tulee käyttää jotain muuta laskentaohjelmaa, esimerkiksi IDA ICE –simulointiohjelmaa.



**KUVA 4. Esimerkki lämmitysverkoston projektiasetuksista MagiCAD-ohjelmassa**

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä (kuva 4) tarkastettavia kohtia ovat järjestelmissä virtaava neste, meno- ja paluuputkien värit, suoritettavat laskutoimitukset, mitoitusperusteet, minimi painehäviöt linjasäätö- ja patteriventtiileille sekä järjestelmän meno- ja paluunesteenlämpötila.

**KUVA 5. Nesteen ominaisuudet MagiCAD-ohjelmassa**

Virtaavan nesteen ominaisuuksista (kuva 5) tulee määrittää ominaislämpökapasiteetti, tiheys ja viskositeetti meno- ja paluunesteen lämpötilan aritmeettisessa keskiarvossa.

The screenshot shows the 'MagiCAD HPV - Water system' dialog box with the following settings:

- General:**
  - ID: 000201
  - UserCode: KV
  - Name: Käyttövesi
  - Cold water, color: Acad-151 (Select...)
  - Linetype: (Select...)
  - Hot water, color: Acad-20 (Select...)
  - Linetype: (Select...)
  - Circ. water, color: Acad-220 (Select...)
  - Linetype: (Select...)
  - Lowest service pressure [kPa]: 465.0
- Sizing Methods:**
  - Cold water: 000001 max 2m/s
  - Hot water: 000002 max 1,5 m/s
  - Circulation water: 000003 max 0,5 m/s
- Balancing:**
  - Minimum dp for radiator valves [kPa]: 2.0
  - Minimum dp for zone valves [kPa]: 3.0
  - Warning limit of high dp:
    - Cold water [kPa]: 999.0
    - Hot water [kPa]: 999.0
    - Circulation water [kPa]: 999.0
  - Warning limit of high/low qv:
    - Low limit [%]: 70
    - High limit [%]: 150
- Layer Variables:**
  - SV1: G2
  - SV2: KV
  - SV3: (empty)
- Calculations:**
  - ☒ Flow sum
  - ☒ Balancing
  - ☒ Sizing
  - ☒ BOM
- Temperatures:**
  - Cold [C]: 5
  - Hot [C]: 58
  - Circulation [C]: 55

Buttons: Ok, Cancel

**KUVA 6. Käyttövesijärjestelmän projektiasetukset MagiCAD-ohjelmassa**

Käyttövesijärjestelmistä (kuva 6) tulee tarkastaa vesiputkien värit, verkoston lähtöpaine, laskutoimitukset, mitoitusperusteet putkille, painehäviöt venttiileille, automaattiset varoitusrajat suuresta ja pienestä vesikalusteen virtaamasta sekä lämpötilat kylmälle, lämpimälle ja kiertovedelle.

**MagiCAD HPV - Sewer system**

General

ID: 000206

UserCode: V

Name: Jätevesiviemäri

Sewer color: Acad-50 Select...

Linetype: Select...

Layer Variables

SV1: G2 SV2: V SV3:

Calculations

☒ Flow sum ☒ BOM

Ok Cancel

**KUVA 7. Viemärijärjestelmän projektiasetukset MagiCAD-ohjelmassa**

Viemärijärjestelmissä (kuva 7) tarkastettavia kohtia ovat putkenväri ja sallittavat laskutoimitukset. MagiCAD ei valitse viemäriputkien kokoja automaattisesti, vaan putkimitoitus tulee tehdä esimerkiksi D1:n mitoitus taulukkoja käyttämällä.

**MagiCAD HPV - System**

General

ID: 000009

UserCode: TK301TF1

Name: Tuloilma

System type: Supply air

Color: Acad-240 Select...

Linetype: Select...

Layer Variables

SV1: G31 SV2: TK301T SV3:

Calculations

☒ Flow sum ☒ Sizing ☒ Balancing ☒ BOM

Sizing Method

VMAX-4/8 Maksimi nopeus 4-8 m/s

Dp/Balancing

Minimum dp for flow damper [Pa]: 20

Minimum dp for air device [Pa]: 20

Warning limit of high dp [Pa]: 999

Balancing warning tolerance [% of dp]: 0

☒ Balancing to minimum pressure

☐ Balancing to fan pressure

☐ Balancing to given pressure

Given pressure [Pa]: 0

Initial Sound

63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
57	56	52	48	51	55	55	51

Ok Cancel

**KUVA 8. Ilmanvaihtojärjestelmän projektiasetukset**

Ilmanvaihtojärjestelmien (kuva 8) asetuksista tarkastetaan kanavan väri, suoritettavat laskutoimitukset, mitoitusperusteet, minimi painehäviöt säätöpelleille ja päätelaitteille sekä puhaltimen aiheuttamat äänenpainetasot. Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotuslaskutoimituksissa voidaan myös sallia toleranssi, joka määrittää, kuinka paljon päätelaitteen todellinen painehäviö saa poiketa lasketusta arvosta. Poikkeaman ollessa toleranssin sallimissa rajoissa ohjelma ei anna huomautusta päätelaitteen ilmavirran tasapainotuksesta.

Ilmanvaihtokanavien kanavakokoja ei toimistokohteissa mitoiteta MagiCADilla, koska suunnitteluohjelma pienentää kerroksissa olevien runkokanavien kokoa automaattisesti ilmavirran pienentyessä. Kerroksissa olevat runkokanavat valitaan manuaalisesti mitoitusaulukkoja käyttäen. Pidettäessä runkokanavan koko vakiona saavutetaan toimistokerrokseen parempi muuntojoustettavuus kuin sitä aina pienentämällä. Toimistokohteissa muuntojoustoa tarvitaan, koska vuokraavat yritykset saattavat haluta muokata vuokraamiensa tilojen käyttötarkoituksia.

Puhaltimen aiheuttamat äänenpainetasot jäävät usein kiireessä huomioimatta, jolloin MagiCADin äänitasolaskelma ei pidä paikkaansa. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 kohdassa 2.4.1 todetaan: ”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että rakennuksessa on viihtyisät ääniolosuhteet.” Jätettäessä puhaltimien äänenpainetasot huomioimatta tämän määräyksen täyttyminen jää epävarmaksi.

#### **4.2.2 Tekniset yksityiskohdat**

Teknisten yksityiskohtien tarkastuksessa käydään läpi suunnitelman sisältöön vaikuttavia asioita: mitä erilaista tekniikkaa suunnitelmissa tulee olla, jotta sen perusteella voidaan rakentaa rakentamismääräysten mukainen toimiva rakennus. Nämä tarkastettavat asiat toimivat lähinnä muistilistana suunnittelijalle siitä, mitä teknisiä asioita LVIA-järjestelmien suunnitelmissa tulee ottaa huomioon.

#### **4.2.3 Piirustusmerkinnät**

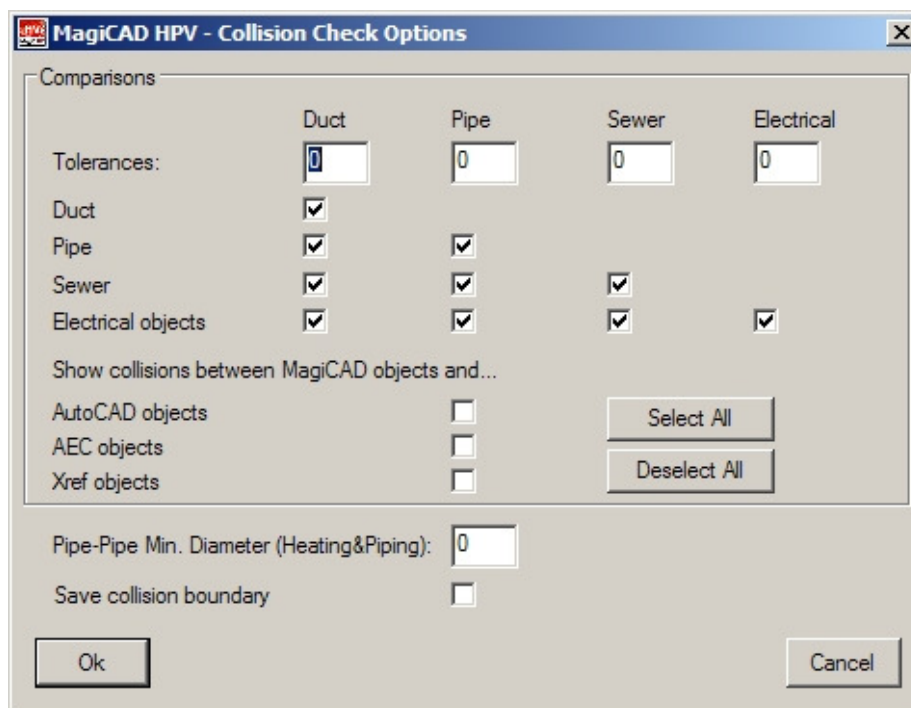
Piirustukset tarkastetaan silmämääräisesti tulostetuista versioista. Katsotaan, että piirustukset ovat selkeitä, luettavia eikä piirustusmerkinnöissä ole puutteita. Piirustus-

merkintöjen sijoituksessa täytyy ottaa huomioon pohjapiirustuksessa olevat merkinnät. Merkinnät on sijoitettava niin, että ne ovat selkeitä ja luettavissa. Tarkastuksessa tulee huomioda myös piirustusten soveltuvuus viimeisimpään arkkitehdin tekemään pohjakuvaan (Isotalo 2012). Piirustusmerkintöjen tarkastus on urakkalaskennan ja työmaan kannalta erittäin tärkeä, koska urakkatarjoukset lasketaan yleensä paperikuvien perusteella. Piirustusmerkinnät saisivat myös olla yhtenäisiä koko taloteknisessä suunnitteluprojektissa, jotta välttyttäisiin mahdollisilta sekaannuksilta työmaalla sekä suunnittelijoiden kesken. Samoista laitteista tulisi käyttää samaa merkintää ja tunnusta. Erityisesti, jos laite esiintyy useissa eri suunnitelmissa.

#### **4.2.4 Suunnitelmien yhteensopivuus**

Suunnitelmien tulee olla yhteensopivia muiden suunnittelualojen suunnitelmien kanssa sekä muiden LVIA:n osa-alueiden kanssa. Muiden LVI:n sisäisten osa-alueiden suunnitelmissa tulee ottaa toisen osa-alueen suunnitelmista tiettyjä asioita huomioon. Lämpösuunnitteluun vaikuttaa mm. ilmanvaihdon ilmavirrat ja ilman sisäänpuhalluslämpötila. Lämmitystehontarpeen yhtenä osana on tuloilman lämmitys huonelämpötilaan. Rakennuksen ilmanvuotoluku on myös yksi lämmitystehontarpeeseen vaikuttava asia. Jäähdytystehontarpeeseen huonelämpötilaa kylmempi tuloilma vaikuttaa sitä pienentävästi. Rakennusautomaation tulee taas huolehtia siitä, ettei lämmitetä ja jäähdytetä päällekkäin; jäähdytettävien tilojen pattereihin asennetaan yleensä toimilaite, joka estää lämmittämisen jäähdyttämisen kanssa samaan aikaan.

Törmäystarkastelut kuuluvat olennaisesti suunnitelmien yhteensopivuuteen. Nykyisin suunnitelmat toteutetaan niin, että ne voidaan tarkastaa käyttämällä MagiCADin törmäystarkasteluominaisuutta, joka varoittaa järjestelmien välisistä päällekkäisyyksistä. Piirtämisessä menee hieman enemmän aikaa, mutta sitä säästyy tarkastelussa verrattaessa vanhaan visuaaliseen törmäystarkastelu menetelmään. Suunnitelmat tulee siis piirtää 3D-ominaisuutta käyttäen, eli 2D-kuvan lisäksi suunnittelija käyttää myös 3D-näkymää, josta näkee tarkemmin, mihin piirrettävä objekti sijoittuu.



**KUVA 9. Törmäystarkastelun asetukset**

Törmäystarkasteluun (kuva 9) voidaan ohjelmasta valita toleranssit, joiden mukaan tarkastelu suoritetaan. Toleranssit asetetaan millimetreinä. Negatiivinen arvo tarkoittaa, että törmäykset sallitaan siihen millimetrimäärään asti, joka kohdassa asetetaan. Positiivisella arvolla ohjelma varoittaa, jos objektit ovat lähempänä toisiaan kuin asetettu arvo. Tarkastelu voidaan tehdä kaikkien talotekniikkasuunnitelmien sekä arkkitehdin pohjakuvien kesken. Suunnitelmat tulee ladata referenssikuviksi ja valita törmäystarkasteluvalikosta, että referenssikuvat myös tarkastetaan. Tarkastelusta voidaan jättää pois putkikoot tiettyyn kokoon asti.

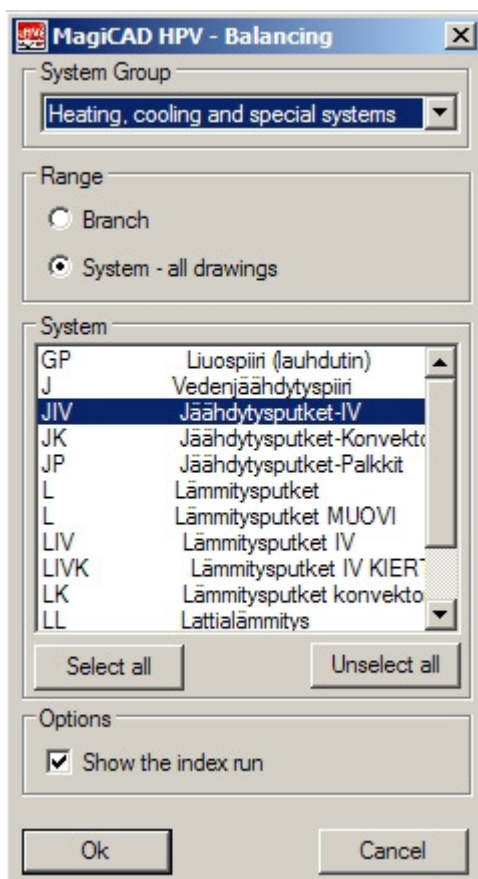
Järvinen ym. (2012, 32) toteaa, että lämmitys-, jäähdytyslaitteiden ja vesikalusteiden kytkentäjohtojen väliset törmäykset sallitaan putkikokojen DN10-25 välisinä. Esimerkiksi lämmityspatterien DN10 kokoiset kytkentäjohdot saavat mennä toisiensa kanssa ristiin, mutta eivät saa lävistää ilmanvaihtokanavia. Kytkentäjohtoja lukuun ottamatta järjestelmät on oltava asennettavia tietomallin perusteella, esimerkiksi putket saavat kuitenkin jonkin verran viistää ilmanvaihtokanavia. Tämä ei haittaa, jos putket ovat asennettavia vaikkapa laskemalla niitä hieman alaspäin.





#### 4.2.5 Ohjelmalliset tarkastukset

Suoritettaessa MagiCADin LVI-järjestelmien tasapainotuslaskentaa tulee ohjelman antamat varoitukset huomioida. Ohjelma huomauttaa suljetuista kiertopiireistä, verkostojen ulkopuolisista osista, verkoston virtaamien epätasapainosta ja käyttövesijärjestelmissä vesipisteiden virtaamien poikkeavuuksista sallittuihin rajoihin. Nämä kaikki huomautukset tulisi käydä läpi ja pohtia, tarvitaanko tehdä toimenpiteitä niiden perusteella. Vesikalusteiden virtaamien tulisi myös olla sallituissa rajoissa eli 70 ... 150 % kalusteen normivirtaamasta (D1 2007, 35). Suoritettavia mitoitusajoja ovat virtaamien laskenta, järjestelmän tasapainotus sekä virtausreitit tarkastelu. Järjestelmän tasapainotus laskee samalla myös virtaamat. Viemärijärjestelmille ei ole tarvetta, eikä mahdollisuutta tehdä muita mitoitusajoja kuin virtaamien laskenta.



**KUVA 11. Järjestelmän tasapainotus MagiCAD-ohjelmassa**

Verkoston tasapainotus (kuva 11) voidaan tehdä pelkästään osalle järjestelmää tai koko järjestelmälle yhdellä kertaa. Tehtäessä osalla järjestelmää tulee käyttää ”Branch” -toimintoa ja valita, mistä haarasta mihin tasapainotus suoritetaan. Tasapainotettaessa



koko järjestelmä kerralla valitaan tasapainotettavat järjestelmät. Ohjelma tasapainottaa järjestelmän kaikkien niiden piirustusten osalta, joissa valittujen järjestelmien osia on. Valittaessa ”Show the index run” ohjelma myös näyttää, mikä on järjestelmän mitoitettava kiertopiiri eli vaikein virtausreitti.

MagiCAD HPV - Flow route												
File Edit												
Storey	Type	Description	Series or product	Size	qv [l/s]	v [m/s]	dp [kPa]	dpcon [kPa]	ptot [kPa]	kv	Adj.	Notes
-1 kellari	Open end/Unsp>			50	0.944				18.9			
-1 kellari	Pipe/supply		Fe-35	50	0.944	0.40	0.05		18.9			
-1 kellari	Bend-90		Fe-35	50	0.944		0.04		18.8			
-1 kellari	Pipe/supply		Fe-35	50	0.944	0.40	0.03		18.8			
-1 kellari	Bend-90		Fe-35	50	0.944		0.04		18.7			
-1 kellari	Pipe/supply		Fe-35	50	0.944	0.40	0.08		18.7			
-1 kellari	Connection node			50	0.944				18.7			
-2 kellari	Connection node			50	0.944				18.7			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-35	50	0.944	0.40	0.02		18.6			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.944		0.05		18.6			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.944	0.46	0.29		18.3			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.944		0.05		18.2			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.944	0.46	0.79		17.5			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.944		0.05		17.4			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.944	0.46	0.03		17.4			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.944		0.05		17.3			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.944	0.46	0.01		17.3			
-2 kellari	T-branch-90		Fe-3313	50	0.944				17.3			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.883	0.43	0.07		17.2			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.883		0.05		17.2			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.883	0.43	0.06		17.1			
-2 kellari	Bend-90		Fe-3313	50	0.883		0.05		17.1			
-2 kellari	Pipe/supply		Fe-3313	50	0.883	0.43	0.02		17.1			
-2 kellari	Connection node			50	0.883				17.1			
-1 kellari	Connection node			50	0.883				17.1			
-1 kellari	Pipe/supply		Fe-35	50	0.883	0.38	0.09		17.0			
-1 kellari	Connection node			50	0.883				17.0			

## KUVA 12. Virtausreitin tarkastelu

Virtausreitin tarkastelu (kuva 12) tehdään ohjelman ilmoittamalle vaikeimmalle virtausreitille eli reitille, jonka kokonaispainehäviö on suurin. Tarkastelu tehdään kaikille LVI-suunnitelmille ja niiden kaikille järjestelmille. Reitin tarkastelu voidaan kuitenkin tehdä vain yhdelle järjestelmälle kerrallaan, joten jokainen järjestelmä on tasapainotettava erikseen ja tasapainotuksen jälkeen suoritetaan virtausreitin tarkastelu. Virtausreitien tarkastelusta saadaan kopioitua Exceliin tietoja, jossa niitä analysoidaan tarkemmin.

MagiCAD HPV - Sound calculations											
Type	Size or product	qv [l/s]	dp [Pa]	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
				-	60	53	46	40	36	31	23
T-branch-90	BDET-1-031-012	470	23	-	-9	-9	-10	-11	-12	-12	-12
				-	+26	+23	+19	+14	+10	+5	+0
				-	51	44	36	29	25	20	12
Duct	BDEK-6-012	30	1	-	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
				-	+4	+3	+2	+1	+0	+0	+0
				-	51	44	36	29	25	19	12
Flow damper	IRIS-012	30	20	-	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
				-	+30	+24	+22	+18	+11	+0	+0
				-	51	44	36	30	25	19	12
Duct	BDEK-6-012	30	0	-	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
				-	+4	+3	+2	+1	+0	+0	+0
				-	51	44	36	30	25	19	13
Supply air device	PACIFIC a-2394-2200-B-MF-125x1-8M/8M-R	30	58	-	-13	-14	-10	-10	-14	-13	-9
				-	+27	+29	+23	+20	+17	+15	+19
				-	38	33	28	23	18	15	19
	A-weight:			-26	-16	-9	-3	+0	+1	+1	-1
	Room absorption:			-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	Total:			-	+18	+20	+21	+19	+15	+12	+14
	Lp = 26 dB(A)										
	NOTE: There are some products without sound>										

### KUVA 13. Esimerkki ilmanvaihdon päätelaitteen äänitason laskennasta

Ilmanvaihdon äänitasot (kuva 13) täytyy myös tarkastaa, ja ohjelmasta löytyy oma laskentatoiminto äänitasoille. Äänitasolaskelma, kuten virtausreitit tarkastelukin, täytyy suorittaa yhdelle järjestelmälle kerrallaan. Ilmanvaihdon tasapainotuksen jälkeen kannattaakin tehdä virtausreitit tarkastelu ja sen jälkeen äänitason laskenta. Äänitasolaskenta antaa suuntaa antavan tuloksen, sillä siinä oletetaan, että huoneen absorptio on 4 dB. Laskelmassa ilmoitetaan kyseisen päätelaitteen huoneeseen tuottama äänitaso dB(A) painotettuna. Täytyy muistaa, että jos huoneessa on useampia päätelaitteita, tulee niiden kaikkien äänitasot ottaa huomioon.

Usean äänilähteen kokonaisäänitaso saadaan seuraavasta yhtälöstä

$$L_{A_{tot}} = 10 \lg(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + 10^{L_{An}/10}) \quad (2)$$

$L_{A_{tot}}$  on laitteiden yhteisesti aiheuttama äänitaso, dB

$L_{A1} \dots L_{An}$  on kunkin laitteen erikseen aiheuttama äänitaso, dB

### **4.3 Tarkastusohjeet**

Tarkastusohjeet on laadittu suunnittelijoille kehitetyn omatarkastuslistan sisällön pohjalta. Ohjeisiin on kerätty LVIA-suunnitelmista tärkeimpiä tarkastettavia asioita. Tarkastusohjeet on koostettu listalle haastattelujen, tarkastustoiminnan testauksen sekä aikaisemmin laadittujen tarkastuslistojen perusteella. Haastatteluissa ilmi tulleita suunnitelmien puutteita on pohdittu ja mietitty, miten kyseessä olevat puutteet voitaisiin ennaltaehkäistä.

#### **4.3.1 Yhteiset**

Yleisiin suunnitelmiin kuuluvat leikkaukset, LVI-laiteluettelo, piirustusluettelo ja LVIA-työselitys. Piirustusluettelon tulee täsmätä suunnitelmiin, kaikki piirustukset on merkittävä siihen muutoksineen. Piirustusten nimiöiden merkinnät on tarkastettava täsmääväksi piirustusluettelon kanssa. LVI-laiteluettelon yhteensopivuus suunnitelmien kanssa täytyy tarkastaa: laiteluettelossa tulee olla kaikki LVI-laitteet. LVIA-työselitys on luettava läpi ja varmistettava, ettei se ole ristiriidassa suunnitelmien kanssa. Työselostus on tärkeä, koska se on YSE 1998 asiakirjojen pätevyysjärjestyksessä tasokuvien edellä.

#### **4.3.2 Maanrakennus**

Maanrakennussuunnitelmiin kuuluvat asemapiirustus, pohjaviemärit sekä kaivojen ja erottimien detaljipiirustukset. Asemapiirustukseen sisältyvät liitoskohdat kunnan sadevesi- ja jätevesiviemäriverkostoon sekä tontilla olevat sadevesi- ja rännikaivot sekä niihin liittyvä rakennuksen ulkopuolinen sadevesiviemäröinti. Rakennuksen ulkopuolella on myös jätevesiviemäreitä ja kaivoja riippuen etäisyydestä kunnan viemäriin liitoskohtaan. Asemapiirustukseen piirretään myös kaukolämpö- ja kaukojäähdytysputket. Kunnan vesijohtoverkostoon liittyvä tonttivesijohto tulee myös löytyä asemapiirroksista. Asemapiirustukseen suunniteltavien putkistojen putkireitityksissä tulee huomioida myös rakennettavalla tontilla olemassa olevat putkistot ja kaapelit. Täytyy selvittää, onko tontilla kaapeleita tai putkia ja ovatko ne käytössä.

Asemapiirustuksesta tulee tarkastaa, että liitoskohdat ja -korkeudet on merkitty kunnalta pyydettävän liitoskohtalausunnon mukaisesti. Liitoskohtalausunnossa ilmoite-

taan myös viemärien padotuskorkeus, jonka perusteella täytyy laskea, voidaanko rakennus viemäroidä viettoviemärillä vai tarvitaanko jäte- tai sadevesipumppaamo. Padotuskorkeus ja vesimittarin paikka tulee olla merkittynä asemapiirustukseen. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen liitoskohdat tarkastetaan lämmönmyyjältä saatavan lausunnon mukaisiksi. Arkkitehdin laatiman pinnantasauskuvan perusteella tulee merkitä sadevesikaivojen kansien korkeudet.

Pohjaviemärisuunnitelmissa esitetään rakennuksen ulkopuoliset pohjalaatan alapuolella sijaitsevat viemäriputket ja pohjalaatan sisällä olevat viemärit. Rakennukseen vaadittavat erotinkaivot tulee esittää pohjaviemärisuunnitelmissa, jos ne sijoitetaan rakennuksen pohjalaattaan tai sen alapuolelle.

Rakennuksen ulkopuolelle asennettavien viemäriputkien mitoituksessa tulee ottaa huomioon, että maassa viemärin vähimmäiskoko tulee olla DN 70 (D1 2007, 47). Ulkopuolisissa viemäreissä tulee ottaa huomioon viemärien puhdistettavuus, D1 taulukon 3 mukaan alapohjan alla olevissa viemäreissä tulee olla enintään 20 metrin välein tarkastusputkia tai puhdistusyhteitä. Perusmuurin ulkopuolisissa viemäreissä vastaava enimmäisvälimatka on 40 metriä edellä mainitun taulukon mukaan. Lisäksi rakennuksen perusmuurin lävistäviin viemäreihin tulee lisätä puhdistusaukko joko ennen lävistystä tai sen jälkeen.

Rakennukseen tarvittavien pumppaamojen sijoitukset, mitoitukset ja pumppujen mitoitukset on tarkastettava. Pumppaamoja voidaan tarvita sadevesi-, jätevesi- ja perusvesijärjestelmissä. Pumppaamojen mitoituksessa tulee huomioida mahdolliset tulevat muutokset rakennuksen käytössä ja suunnitteluvaiheessa, eli mitoittaa ne suuremmalle kuin lasketulle mitoitusvirtaamalle. Sähkösuunnittelijalle on ilmoitettava pumppaamoiden sähkötiedot, jotta niiden sähkötehot, kaapelointi ja ohjaus osataan ottaa huomioon sähkösuunnitelmissa.

Rakennuksessa voi olla tarvetta myös rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen erotinkaivoille. Perusteena erottimille on rakentamismääräyskokoelma D1 4.1.1 kohdan määräys: ”Jätevesi ei saa sisältää vahingollisia aineita, joista on haittaa kiinteistön jätevesijärjestelmän tai vesihuoltolaitoksen toiminnalle.” Ravintolan keittiötilojen viemäriverdet viemäroidään erikseen rasvanerotinkaivoon, joka erottaa rasvan muusta jätevedestä tiheyseroon perustuen. Parkkihalleihin vaaditaan hiekan- ja öljynerottimet.

Hiekanerotin erottelee jätevedestä raskaammat aineet pois. Öljynerotin sijoitetaan aina hiekanerotin jälkeen, sen tehtävänä on poistaa jätevedestä öljypohjaiset epäpuhtaudet. Erottimet tulee varustaa riittävällä tuuletusviemäröinnillä.

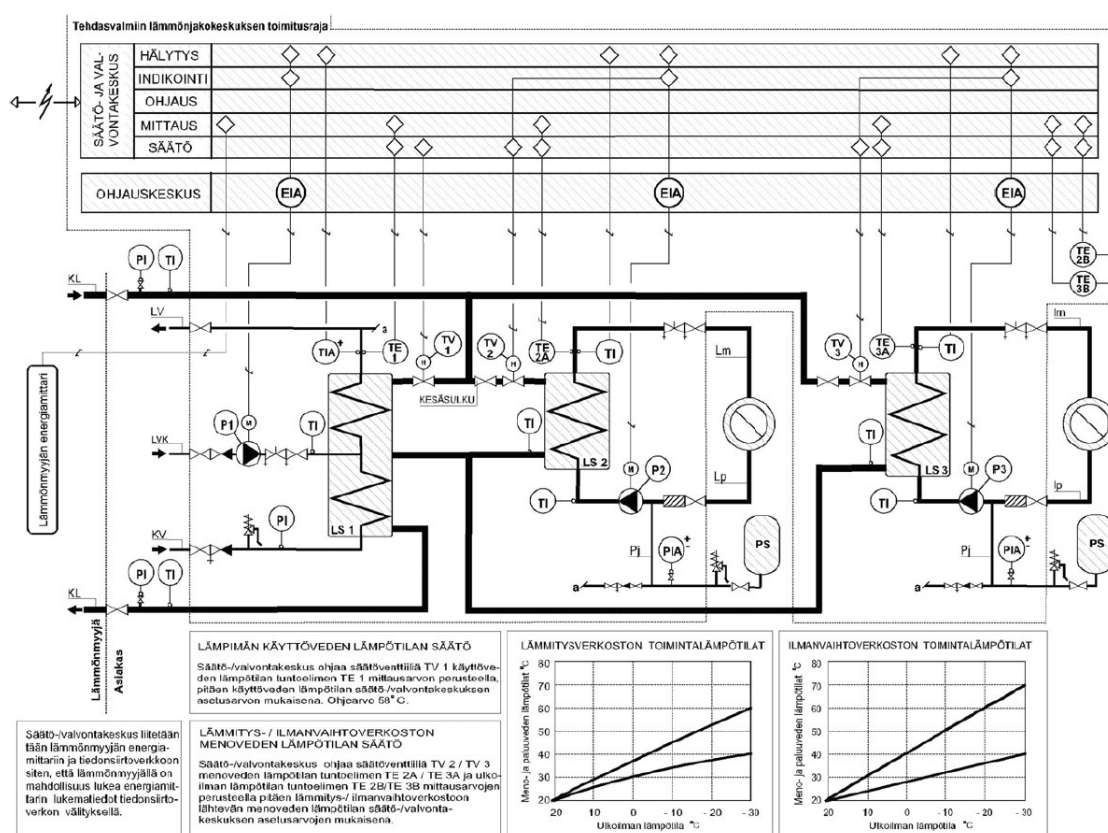
### 4.3.3 Lämmitysjärjestelmät

Lämmityssuunnitelmiin kuuluvat kytkentäkaaviot tilojen lämmitykselle, ilmanvaihtokoneille, lämminilmapuhaltimille sekä muille lämmityslaitteille. KytKentäkaavioiden lisäksi lämmityksestä tehdään tasopiirustukset. Tasopiirustuksissa esitetään kerroskohtaisesti lämmityslaitteiden sijoitukset ja tyypit sekä putkien koot ja reititykset. Tasopiirustuksista on löydyttävä linjasäätöventtiilien tyypit ja mitoitusarvot, jotta järjestelmä saadaan urakoitsijan toimesta tasapainotettua. Ilmanpoistimet tulee myös merkitä tasopiirustuksiin. Tasopiirustuksia tarkastettaessa on kiinnitettävä huomioita erityisesti piirustusmerkintöjen selkeyteen ja riittävyyteen. Erityisesti tulee kiinnittää huomioita putkikoon merkitsemiseen ja linjasäätöventtiilien mitoitusarvojen merkintöihin. Putkikoko on merkittävä aina, kun putken halkaisija muuttuu. Suunniteltaessa patteriverkosto käännetyn paluun periaatteella tulee putkikoko merkitä jokaiseen putkeen, vaikka putkikoko pysyisi samana. Käännettyssä paluussa myös eritellään putkikoko-merkinnässä meno- ja paluuputket. Tasopiirustuksista on myös löydyttävä putkistojen ilmanpoistimet sekä runkoputkien lämpölaajenemisen kompensoimiseen tarvittavat paisunnat. Käytettävät putkimateriaalit tulee olla tilaajan vaatimusten mukaisia.

Kaukolämpöön liitettävissä rakennuksissa tulee lämmönmyyjältä kysyä kaukolämpölaitteille käytettävissä oleva paine-ero. Paine-eron perusteella mitoitetaan kaukolämpöverkoston ensiöpuolella eli kaukolämpöveden puolella olevat säätöventtiilit. Säätöventtiilit säättävät kaukolämpöveden ensiövirtaamaa vastaamaan rakennuksen sen hetkistä tehontarvetta. Kaukolämmön kytkentäkaaviosta tulee tarkastaa, että lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero on huomioitu suunnitelmissa. Paine-eron tarkastaminen on tärkeää, koska säätöventtiilien vaikutusasteen  $\beta$ :n tulisi olla vähintään 0,5 (K1 2003, 14). Riittävällä vaikutusasteella varmistetaan venttiilin toimintaedellytykset.

KytKentäkaaviosta tulee myös tarkastaa pumppujen ja lämmönsiirtimien mitoitus, näiden tulee vastata viimeisimpiä suunnitelmia. Pumppujen ja lämmönsiirtimien virtaamien tulisi täsmätä keskenään. Pumppujen nostokorkeuksien suuruusluokka on

tarkastettava laskemalla kiertopiirin painehäviöt uudelleen. Nostokorkeuden laskennassa tulee huomioida kaikki painehäviötä aiheuttavat putkistovarusteet. Käyttöveden kiertojohtopumpun virtaaman tulee olla kaukolämpöön liitettävissä rakennuksissa vähintään 30 % lämpimän käyttöveden toisiopuolen virtaamasta (K1 2003, 53). Kaukolämmön putkikytkentäkaaviosta tulee löytyä kaikki K1:n esimerkkikytkentöjen mukaiset putkistovarusteet. Toimistorakennuksissa, joissa on useita ilmanvaihtokoneita, käytetään yleensä kolmella lämmönsiirtimellä varustettua lämmönjakokeskusta (kuva 14). Omat lämmönsiirtimet ovat lämmitykselle, ilmanvaihdon lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle. Lämmitysverkostojen tyhjennyspaikat on myös esitettävä kytkentäkaaviossa.



**KUVA 14. Lämmönjakokeskuksen esimerkkikytkentäkaavio kolmella lämmönsiirtimellä (K1 2003, 85)**

Tilojen lämmitysverkoston toisiopuolella ei yleensä ole painehäviötä aiheuttavia sää-  
töventtiileitä. Lämmitysverkostoon voidaan kuitenkin liittää muusta verkostosta poik-  
keavilla lämpötiloilla toimivia lämmönluovuttimia. Esimerkkinä patteriverkostoon  
liitettävä vesikiertoinen lattialämmitys. Patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat esi-  
merkiksi 70 / 40 °C ja liitettävällä lattialämmityksellä 40 / 35 °C. Tässä tapauksessa

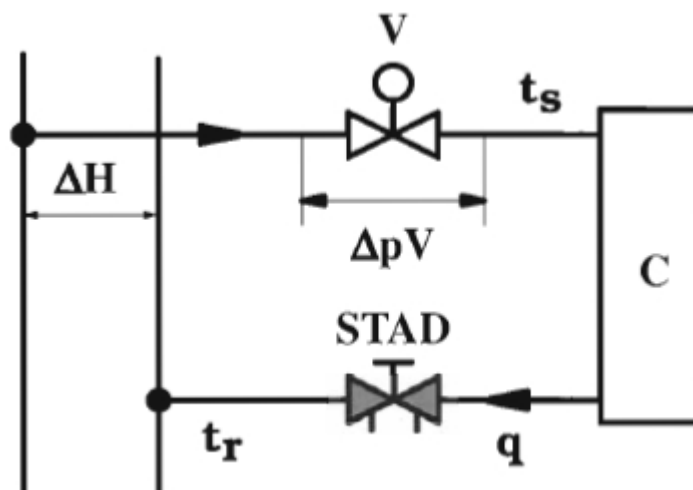
tulee lisätä säätöventtiili, joka säätelee virtaamaa pienentämällä lämmitysveden lämpötilaksi 40 °C. Säätöventtiilin painehäviö tulee muistaa huomioida lämmitysverkoston pumpun nostokorkeuden laskennassa, säätötavasta riippuen. Tässä tapauksessa käytetään yleensä kaksi- tai kolmitieventtiilisäätöä (kuva 16 ja 17). Säätöventtiilin vaikutusasteen tulisi näissäkin tapauksissa olla vähintään 0,5.

Vaikutusaste lasketaan seuraavalla kaavalla

$$\beta = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_{putkisto} + \Delta p_v} \quad (3)$$

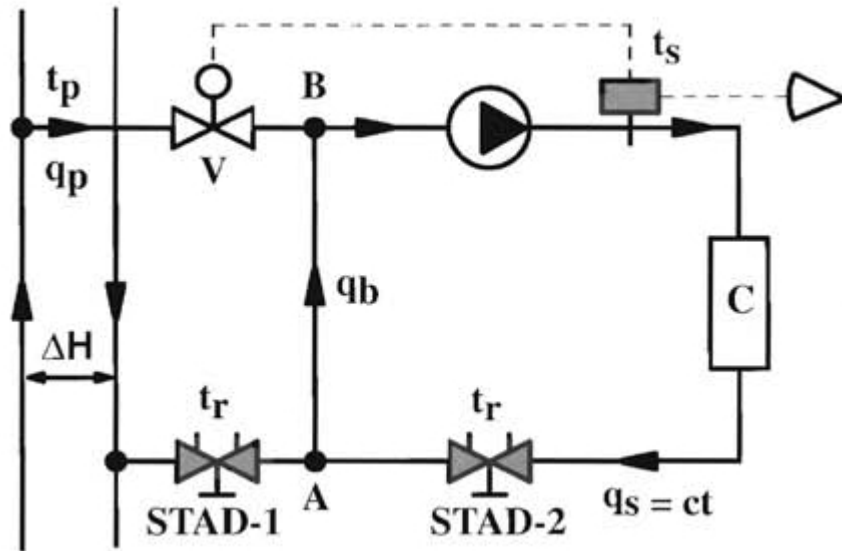
$\Delta p_v$  on venttiilin aiheuttama painehäviö

$\Delta p_{putkisto}$  on putkiston painehäviö, jonka virtaamaan venttiili vaikuttaa



**KUVA 15. 2-tieventtiilillä toteutettu säätöjärjestelmä (TA 2011, 8)**

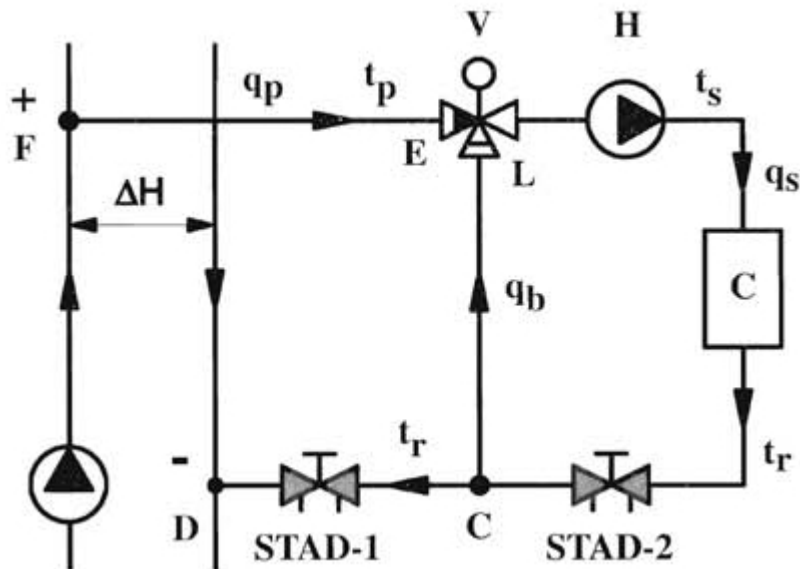
Kaksitieventtiiliä käytettäessä venttiilin painehäviö lasketaan mukaan lämmönjakokeskuksen lämpöjohtopumpun nostokorkeuteen riippuen siitä, onko se osana vaikeinta virtausreittiä. Käytettäessä omaa pumppua lämpöjohtopumpun mitoituksessa huomioidaan painehäviöt kuvan 16 pisteeseen B asti. Pisteestä B eteenpäin painehäviöt huomioidaan toisen pumpun mitoituksessa.



**KUVA 16. 2-tieventtiisäätöjärjestelmä omalla pumpulla (TA 2011, 15)**

Ilmanvaihdon lämmitysverkostoon on yleensä kytkettynä useita ilmanvaihtokoneita. Verkosto mitoitetaan yleensä lämpötiloille 70 / 40 °C ja yksittäiset ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit lämpötiloille 60 / 40 °C. Virtaamaa joudutaan siis säätämään säätöventtiileillä. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätö tehdään yleensä joko kaksitie- tai kolmitieventtiilisäädöllä. Yleensä ilmanvaihtokoneen lämmityspatterilla on oma vakiovirtaamalla pyörivä pumppu (kuva 16 ja 17). Ilmanvaihtokanavistoihin sijoitettaviin jälkilämmityspattereihin voidaan käyttää kuvan 15 säätötapaa. Lämmityspatterille suunnitellaan oma pumppu, koska lämpöä saatetaan tarvita patterille nopeasti, esim. jäätymisenestotilanne. Käytettäessä kolmitiesäätöventtiiliä (kuva 17) säätöventtiiliin painehäviö lisätään ilmanvaihtokoneen oman pumpun nostokorkeuteen. Vaikutusaste ja pumppujen nostokorkeudet lasketaan samalla periaatteella kuin aiemmin. Suunnitelmista tulee tarkastaa, että säätöventtiilien painehäviöt on huomioitu oikeiden pumppujen mitoituksissa.





**KUVA 17. 3-tieventtiilillä toteutettu säätöjärjestelmä (TA 2011, 25)**

Lämmitysverkostojen tulee olla suljettavia mahdollisten putkivuotojen sattuessa. Sulkuventtiilejä tulisi olla linjasäätöventtiilien yhteydessä sekä aina runkolinjasta lähtevässä haaralinjassa. Sulkuventtiilit tulee aina sijoittaa sekä meno- että paluuputkeen. Linjasäätöventtiilejä tulee olla sellaisissa paikoissa verkostossa, jotta lämpöjohtoverkosto saadaan tasapainotettua. Lämmitysverkostojen lämmityspatterien mitoitus ja patterien oikea sijoitus täytyy tarkastaa. Patterit sijoitetaan yleensä ikkunan eteen suunnilleen saman levyisinä kuin ikkuna, jos ikkunoita ei ole patterit sijoitetaan ulkoseinille. Patterit tulisi olla tyypiltään samanlaisia samassa verkoston osassa, koska tyypillä on vaikutusta patterin lämmönluovutukseen. Estetiikan kannalta patterit olisi hyvä olla samankorkuisia samassa tilassa. Teknisten tilojen, erityisesti sprinkleritilan ja ilmanvaihtokonehuoneen, lämmitys on tarkastettava.

#### 4.3.4 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Vesi- ja viemärisuunnitelmiin sisältyvät tasopiirustukset ja kalusteluettelo. Tasopiirustuksissa esitetään vesi- ja viemärikalusteiden sijoitukset sekä vesijohtojen ja viemäriputkien reititykset. Tasokuvaan merkitään vesi- ja viemärikalusteiden tunnuksia, joiden perusteella kalusteluettelosta nähdään, mikä kaluste on kyseessä. Kalusteluetteloon merkitään kaikkien käytettävien vesi- ja viemärikalusteiden tyypit ja tuotetiedot. Kalusteluettelossa ilmoitetaan samat kalustetunnukset kuin mitä tasopiirustuksiin on

merkitty. Tasopiirustuksiin tulee löytyä edellä mainittujen asioiden lisäksi seuraavat merkinnät:

- viemäri- ja vesijohtoputkien putkikoot ja virtaamat
- viemärien lämpö-, ääni- ja paloeristykset
- pikapalopostien venttiilit
- sulkuventtiilit
- alipaineventtiili ja sen asennuskorko
- viemärien puhdistusluukut.

Vesijohtoverkoston suunnittelussa täytyy huomioida vesilaitoksen ilmoittaman painetason ja rakennuksen korkeusaseman perusteella laskettava staattinen paine-ero. Suunnitelmista on tarkastettava, että näin on menetelty. Staattisesta paine-erosta tulee vähentää kylmässä käyttövedessä vesimittarin ja tonttivesijohdon aiheuttama painehäviö. Lämpimässä käyttövedessä on myös huomioitava vedenlämmittimen painehäviö. Korkeissa kohteissa staattinen paine-ero voi olla riittämätön, jolloin verkoston painetta on syytä korottaa paineenkorotuspumpulla. Matalissa rakennuksissa staattista paine-eroa voidaan joutua alentamaan paineenalennusventtiilillä, jos vesikalusteiden virtaamia ei muuten saada sallittujen rajojen sisäpuolelle.

Vesijohtoputkien sijoituksessa rakennukseen tulee huomioida niiden vaihdettavuus ja vuotojen havaittavuus. Esimerkiksi PEX-muoviputkia käytettäessä ne on suunniteltava asennettavaksi suojaputken sisälle. Korkeisiin pystylinjoihin täytyy suunnitella vuodonilmaisimet, joista vuotava vesi valuu näkyvälle paikalle. Vesijohtoputkiin on sijoitettava riittävä määrä sulkuventtiilejä, jotta mahdollinen vuoto saadaan pysäytettyä haittaamatta kohtuuttomasti muun rakennuksen vesijohtoverkoston toimintaa. Monikerroksisessa rakennuksessa sulkuventtiilejä tulisi olla ainakin jokaisessa pystylinjasta haarautuvassa linjassa. Lämpimän käyttöveden odotusaika eli aika, jonka kuluttua hanasta tulee lämmintä vettä, on huomioitava suunniteltaessa lämpimän käyttöveden kiertojohtoa. Kiertojohto tulisi suunnitella niin, että kaukaisimmastakin vesikalusteesta tulisi lämmintä vettä 10 sekunnin kuluessa hanan aukaisusta (D1 2007, 9). Lämpimän veden kiertojohdon virtaamien tasapainottamiseksi kiertojohdon jokaiseen linjaan suunnitellaan linjasäätöventtiili, jonka avulla virtaama säädetään suunniteltuun arvoon. Linjasäätöventtiilin mitoitusarvot on esitettävä tasopiirustuksessa. Vesikalusteiden takaisinimusuojaukset on huomioitava suunniteltaessa vesipisteitä. Yleensä takaisinimusuojauksena käytetään ilmapäliä. Suojaukset toteutetaan rakentamismää-

räyskokoelman osan D1 liitteen 1 mukaisesti. Takaisinimusuojauksella estetään vesikalusteesta ulos tulleen veden imeytyminen takaisin vesijohtoverkostoon.

Viemärisuunnitelmista tarkastettavia asioita ovat viemärien puhdistettavuus ja tuuletusviemärien riittävä määrä. Puhdistusluukku tulee sijoittaa jokaisen pystyviemäri-  
linjan alapäähän. Viemäri voidaan toteuttaa tuulettamattomana vain D1 kohdan 4 tauluk-  
kojen 2 ja 3 mukaisesti, muissa tapauksissa tarvitaan tuuletusviemäri. Rakennuksesta  
tulee viedä vähintään yksi tuuletusviemäri vesikaton lävitse. Vesikatolla täytyy tarkas-  
taa, ettei tuuletusviemäri ole liian lähellä kattopintaa sekä jäte- ja tuloilmalaitteita.  
Jäteilmalaitteista etäisyys on 1 m, ulkoilmalaitteista 8 m vaakasuunnassa ja kattopin-  
nasta 0,5 m (D1 2007, 22).

Viemäriputkien materiaalivalintoihin tulee kiinnittää huomioita, esimerkiksi viemäroi-  
täessä ammattikeittiöiden rasvaviemäreitä putkimateriaalin tulisi olla ruostumatonta  
terästä. Palo-osastot lävistävät muoviviemärit voidaan paloeristää tai vaihtoehtoisesti  
käyttää valurautaviemäriputkea tai muuta palonkestävää viemäriputkea.

Viemärisuunnitelmissa tulee olla huomioituna ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatteri-  
en kondenssiviemäröinti. Kondenssivettä voi tiivistyä myös tilojen jäähdytykseen  
suunnitelluista jäähdytyslaitteista, niidenkin kondenssivedet tulee viemäröidä. Ul-  
koilmakammioissa tulee myös olla viemäröinti lumen ja sadeveden takia. Yleensä  
ulkoilmakammioihin suunnitellaan kuivakaivo.

#### **4.3.5 Ilmastointijärjestelmät**

Ilmanvaihtosuunnitelmat koostuvat tasopiirustuksista, ilmanvaihtokaaviosta ja pääte-  
laiteluettelosta. Ilmanvaihtokaaviossa esitetään ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet.  
Vaikutusalueet on tarkistettava viimeisimpien suunnitelmien mukaisiksi. Tasopiirus-  
tuksiin merkitään päätelaitteiden tunnuksat ja ilmamäärät. Päätelaiteluettelosta, joka  
lisätään yleensä piirustuksen oikeaan yläreunaan, merkitään tasopiirustusten tunnuksien  
mukaiset päätelaitteiden tyypit. Tasopiirustuksissa esitetään myös tulo-, poisto-, ulko-  
ja jäteilmakanavistojen reititykset ja kanavakoot. Kanavistoihin tarvittavien ilmavirran  
säätö- ja palonrajoitinlaitteiden koot ja sijoitukset kuuluvat tasopiirustuksissa esittä-  
viin asioihin.

Tasopiirustuksista tarkastettavia merkintöjä ovat:

- puhdistusluukut
- oviraot ja siirtoilmasäleiköt
- kanavakoot, kanavien eristeet
- päätelaitteiden ilmavirrat ja tunnuksot
- säätö- ja palopeltien tunnuksot
- päätelaiteluettelon vastaavuus tasopiirustuksiin.

Ilmanvaihtosuunnitelmista tulee tarkastaa ilmankäsittelykoneiden ja niiden sisältämien laitteiden mitoitusarvot. Laitteita ovat esimerkiksi jäähdytys- ja lämmityspatterit. Patterien mitoituksen perusteena ovat tarvittavat jäähdytys- ja lämmitystehot sekä suurimmat sallitut otsapintanopeudet. Lämmityspatterin otsapintanopeus saa olla maksimissaan 3,5 m/s. Ilman pisanerotinta olevalle jäähdytyspatterille suurimpana sallittuna otsapintanopeutena käytetään 2,5 m/s. (Sarkki ym. 2012, 53.) Ilmankäsittelykoneen muiden osien mitoitus perustuu sallittuihin äänentehotasoihin koneen kanavalähtiin sekä lämmöntalteenoton hyötysuhde vaatimukseen. (Mäkinen ym. 2004, 16.) Ilmankäsittelykoneiden sijoittamisessa ilmanvaihtokonehuoneeseen tulee huomioida koneiden huollettavuus. Pattereille, suodattimille ynnä muille laitteille tulee varata koneen ympärille riittävästi huolto- ja ulosvetotilaa. Ilmanvaihtokonehuoneen ilmanvaihdesta on myös huolehdittava, ettei lämpötila ilmanvaihtokonehuoneessa pääse nousemaan yli 35 °C:een. Yleensä ilmanvaihtokonehuoneeseen suunnitellaan vain poistoilmanvaihto, jossa tuloilma johdetaan huoneeseen ulkoilmasta suodattimen läpi. Porrashuoneisiin ja hissikuiluihin tulee myös suunnitella vähintään poistoilmanvaihto.

Rakennuksen ilmankäsittelykoneiden ulkoilmalaitteiden mitoituksessa tulee huomioida laitteen otsapintanopeus. Otsapintanopeuden ylärajana käytetään ulkoilmasäleiköissä 2 m/s. Ulkoilmakammioissa virtausnopeus saa olla maksimissaan 1,5 m/s. (Sarkki ym. 2012, 53.) Ulkoilmakanavien suunnittelussa on huomioitava kanavien lämmöneristys, varsinkin silloin kun kanavareitit menevät lämpimissä tiloissa. Ulkoilmakammioiden seinämiin on myös lisättävä lämmöneristeet. Jäteilmalaitteen suurimpana sallittuna ulospuhallusnopeutena käytetään yleisesti 4 m/s. Jäteilmalaitteen sijoituksessa tulee huomioida etäisyydet ulkoilmalaitteista ja tuuletusviemäreistä. Jäteilmakanavat on myös muistettava varustaa lämmöneristyksellä, koska jäteilman lämpötila laskee huomattavasti lämmöntalteenoton vaikutuksen seurauksena.

Rakennuksen ilmavirtojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon tilojen väliset painesuhteet, eli yleensä ilmaa pyritään poistamaan likaisista tiloista ja sitä johdetaan rakennukseen sisään puhtaimmista tiloista. Likaisia tiloja ovat sisäilman epäpuhtauksia sisältävät tilat, mm. hygienia- ja ruoanlaittotilat.

Ilmanvaihtokanavistojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon seuraavia yksityiskohtia. Tulo- ja poistoilmakanavistot tulee saada tasapainotettua suunnitelluilla päätelaitteilla ja niiden ilmavirroilla. Kanavistoihin tulee lisätä säätöpeltejä, jotta tasapainotus onnistuu. Kanavistojen on myös oltava puhdistettavia. Puhdistettavuus varmistetaan sijoittamalla kanavistoon puhdistusluukkuja. Puhdistusluukkuja sijoitetaan vaakakanavaan noin 10 metrin välein sekä palopeltien ja kanavien suunnanmuutosten yhteyteen. Luukut tulee sijoittaa niin, että ne puhdistustyöntekijät pääsevät niihin vaivatta käsiksi.

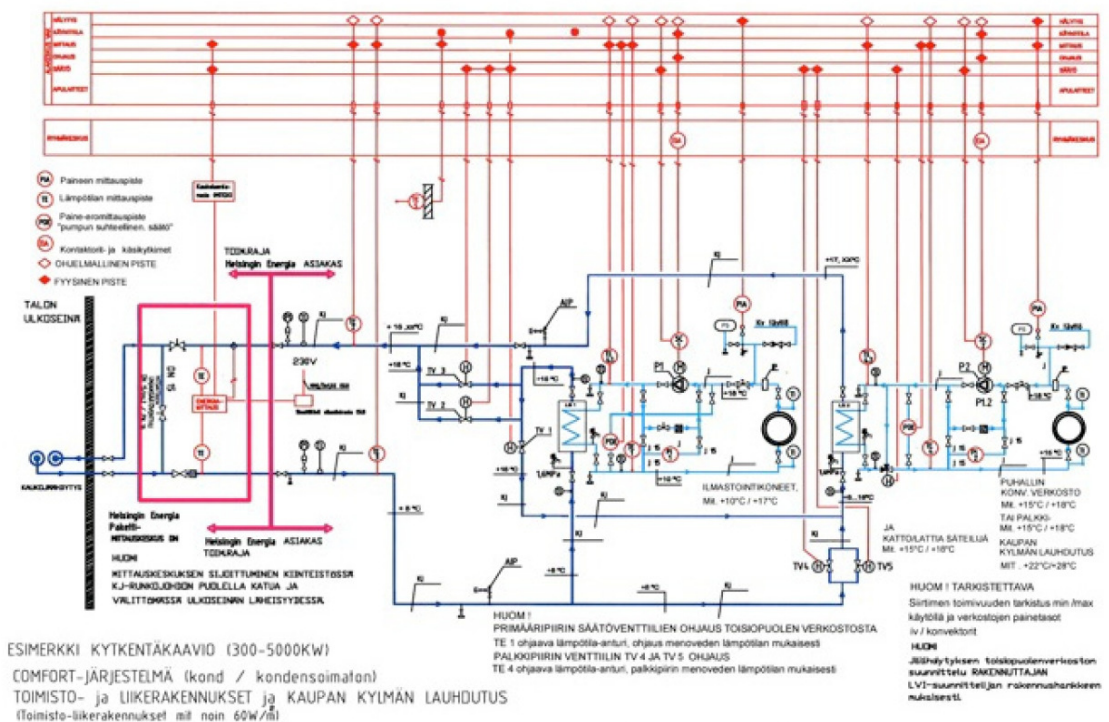
Kanaviin tulee lisätä palopeltejä, tai ne on paloeristettävä riippuen rakennuksen palo-osastoinnista. Riittävästä palonrajoituksesta tulee huolehtia aina, kun kanava lävistää paloa eristävän seinärakenteen. Lämpöeristys on lisättävä aina, kun kanavat kulkevat kylmemmässä tilassa kuin mitä ilma kanavan sisällä on. Lämpöeristys tulee lisätä myös kanavaan, jossa ilma on viileämpää kuin ympäröivässä tilassa oleva ilma. Äänihaittoja voidaan estää kanavien äänieristyksellä ja äänenvaimentimilla. Äänenvaimennuksella estetään kanavissa tapahtuvan virtauksen ja ilmankäsittelykoneiden puhaltimien aiheuttamaa meluhaittaa. Ilmankäsittelykoneiden ääniä vaimennetaan yleensä koneen yhteydessä olevalla äänenvaimentimella. Kanavistoon lisätään tarpeen mukaan lisävaimentimia, jos äänitasovaatimuksia ei muuten saavuteta. Tuloilmalaitteiden suunnittelussa tulee huomioida äänitasovaatimusten lisäksi, myös mahdolliset vetohaitat sekä heittopituudet. Vetohaittojen ehkäisemiseksi ilman virtausnopeuden tulisi olla alle 0,2 m/s oleskeluvyöhykkeellä tultaessa. Tuloilmalaitteen heittopituuden tulee kuitenkin olla sellainen, ettei tuloilmasuihku jää huonetilan kattoon. Poistoilmalaitteet valitaan pääasiassa niiden aiheuttamien äänitasojen ja painehäviöiden perusteella. Poistoilmalaite tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle tilan kattoa, jotta ylöspäin nouseva lämmin ilma ei jää katonrajaan.

Ilmanvaihtokoneiden pumppujen ja puhaltimien sähkötehot tulee muistaa täyttää laiteluetteloon ja informoida sähkösuunnittelijaa näistä. Sähkösuunnittelijan kanssa tulee katsoa myös, varsinkin tuloilmalaitteiden sijoitusta, etteivät valaisimet ole niiden tu-

loilmasuihkujen tiellä. On myös katsottava, etteivät tuloilmalaitteet vastaavasti ole sijoitettu valaisimia tai niiden toimintaa häiritsevästi.

#### 4.3.6 Jäähdytysjärjestelmät

Jäähdytyksen putkireititykset ja jäähdytyslaitteet esitetään yleensä samoissa tasopiirustuksissa lämmityssuunnitelmien kanssa. Jäähdytysjärjestelmälle tehdään kuitenkin oma kytkentäkaavio. Ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterien kytkennät voidaan esittää samassa kytkentäkaaviossa lämmityspatterien kanssa. Jäähdytysenergia tuotetaan yleensä vedenjäähdytyskoneilla tai kaukojäähdytyksellä. Kaukojäähdytys on tällä hetkellä käytössä vasta suurimmissa kaupungeissa, muissa kohteissa jäähdytysenergian tuottoon käytetään yleensä vedenjäähdytyskoneita. Kaukojäähdytykselle on tehty oma kaukolämmön K1/2003:sta vastaava suositus ja ohjejulkaisu KJ1/2010. Kaukojäähdytyslaitteet suunnitellaan näiden suositusten ja ohjeiden mukaisesti. Tasopiirustuksissa tulee olla kaikki samat merkinnät kuin lämmitysjärjestelmien tasopiirustuksissa. Kaukojäähdytyksen kytkentäkaavio suunnitellaan KJ1/2010 esimerkkikytkentäkaavioiden mukaisesti. Kytkentäkaaviossa tulee olla kaikki esimerkkien mukaiset putkistovarusteet (ks. kuva 18).



**KUVA 18. Kaukojäähdytyksen esimerkkikytkentäkaavio 300 - 5000 kW:n jäähdytyskeskuksille (KJ1/2010, 35)**

Toimistorakennuksissa jäähdytyskeskus toteutetaan yleensä kahdella eri lämmönsiirtimellä. Jäähdytyspalkeille ja ilmanvaihtokoneille on omat lämmönsiirtimensä. Ensiöpuolen säätöventtiilit mitoitetaan KJ1/2010 ohjeiden mukaisesti.

Vedenjäähdytyskoneita käytettäessä kytkentätavat vaihtelevat järjestelmän vaatimusten mukaisesti. Laitevalmistajilta saa heidän laitteidensa, eli vedenjäähdytyskonepaketin kytkentäkaavion, johon lisätään toisiopuolen putkistot varusteineen. Toimistorakennuksiin suunnitellaan jäähdytystehontarpeesta riippuen yleensä kaksi vedenjäähdytyskonetta. Yleensä käytetään ns. välillistä järjestelmää, eli kylmäainekierto on pelkästään vedenjäähdytyskonepaketissa. Paketissa on lämmönsiirtimet, joiden kautta lauhdelämpö siirtyy katolla oleville nestejäähdyttimille. Vedenjäähdytyskoneet sijoitetaan yleensä ilmanvaihtokonehuoneen yhteyteen. Nestejäähdyttimet tai pienemmissä järjestelmissä lauhduttimet sijoitetaan vesikatolle. Vesikatolla lauhduttimien ja nestejäähdyttimien sijoituksessa tulee ottaa huomioon laitteiden aiheuttamat äänitasot kohderakennukseen sekä riittävä ilmankierto sijoituspaikassa. Lauhduttimien tai nestejäähdyttimien lauhdutusteho pienenee sijoituspaikan lämpötilan mukaisesti. Laitteet toimivat paremmin viileässä kuin lämpimässä paikassa.

Vedenjäähdytyskoneet viilentävät välisäiliössä olevaa vettä. Välisäiliöstä otetaan ilmanvaihtokoneille ja jäähdytyspalkeille omat kiertopiirinsä. Jäähdytyspalkkien verkostoon suunnitellaan säätöventtiili, joka säätelee palkkiverkoston menoveden lämpötilan korkeammaksi kuin ilmanvaihtokoneille menevän veden lämpötila on. Ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterien menoveden lämpötilan säädössä käytetään yleensä kaksitie- tai kolmietieventtiilisäätötapaa (ks. kuvat 15, 16 ja 17). Jäähdytyspatterille ei ole välttämätöntä suunnitella omaa pumppua, koska patterin jäätymisvaaraa ei ole. Säätöventtiilit mitoitetaan samalla periaatteella kuin ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereissakin.

Tilojen jäähdytyslaitteet mitoitetaan jäähdytystarvelaskelmien mukaisesti. Jäähdytystehontarvelaskelmat on tarkistettava jäähdytyslaitteita valittaessa. Jäähdytyspalkeilla suurin vedottomasti toteutettava jäähdytysteho on noin  $60 \text{ W/m}^2$  toimistohuoneissa (Ylikauppila 2012). Laitteiden ja ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterien mitoituksessa on otettava huomioon tilaajan vaatimusten mukainen mahdollinen ylimitoitus. Ylimitoitus huomioidaan myös vedenjäähdytyskoneiden tai kaukojäähdytyskeskuksen

mitoituksessa. Lämmönsiirtimien, pumppujen ja säätöventtiilien mitoitusarvojen oikeellisuus on tarkastettava.

Jäähdytysputkistojen suunnittelussa tulee kiinnittää huomioita verkoston sulku- ja linjasäätöventtiilien sijoitukseen. Linjasäätöventtiileitä tulee lisätä niin, että verkosto saadaan tasapainoon. Sulkuventtiilit sijoitetaan linjasäätöventtiilien yhteyteen menoja paluuputkeen. Sulkuventtiilejä tulisi olla vähintään kuilujen pystynousuista haarautuvissa kerroskohtaisissa linjoissa. Jäähdytysputkistoissa putkimateriaali valitaan tilaajan kanssa sovitun periaatteen mukaisesti. Putkimateriaalina käytetään suurissa terästä ja pienissä putkissa kuparia. Toimistokohteissa jäähdytyspalkkiverkostossa runkolinjat suunnitellaan yleensä teräsputkiksi ja muut kerroksissa olevat putket kupariputkiksi. Ilmanvaihtokoneiden jäähdytysverkosto suunnitellaan siirrettävistä tehoista riippuen yleensä teräsputkiksi.

Jäähdytyspalkkien ja ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterien jäähdytystehojen vastaavuus ilmanvaihtosuunnitelmiin nähden on tarkastettava. Palkkien ja patterien sijoitukset sekä jäähdytys- että ilmanvaihtotasopiirustuksissa tulee vastata toisiaan. Sähkösuunnittelijaa on informoitava jäähdytyslaitteiden sähkötehontarpeista. Automaatio-suunnittelijan on merkittävä tarvittavat toimilaitteet vastaaville paikoille kuin jäähdytys-suunnitelmissakin on merkitty.

#### **4.3.7 Rakennusautomaatiojärjestelmät**

Rakennusautomaatiosuunnitelmiin sisältyy piirustusluettelo, järjestelmäkaavio, sijaintipiirustukset, säätökaaviot, toimintaselostukset, laiteluettelot, venttiililuettelo ja tapahtumaohjelmat. Piirustusluetteloon on merkittävä kaikki automaatiopiirustukset piirustusnumeroineen. Sijaintipiirustuksissa esitetään automaatiolaitteiden sijoitukset tasopiirustuksissa. Säätökaavioissa esitetään LVI-laitteiden säädöt ja kytkennät. Toimintaselostuksissa selostetaan, miten suunniteltu kytkentä toimii. Laiteluetteloihin merkitään kaikki kytkennässä merkityt automaatiolaitteet. Tapahtumaohjelmat, joihin viitataan toimintaselostuksissa, selitetään ohjelmien numeroiden mukaisessa järjestyksessä erillisenä osana automaatiosuunnitelmia.

Järjestelmäkaaviossa esitetään koko automaatiojärjestelmän rakenne eli tiedonsiirtoväylät, reitittimet, alakeskukset, ryhmäkeskukset, huonesäätimet ja valvomo. Järjes-



telmäkaaviosta on tarkastettava, että siinä on esitetty koko automaatiojärjestelmän rakenne oikein. Sijaintipiirustuksista on tarkastettava, että niihin on merkitty kaikki LVI- ja sähkölaitteiden vaatimat automaatiolaitteet. Automaatiolaitteita ovat mm. jäähdytyspalkkien ja lämmityspatterien toimilaitteet, ilmamääräsäätöisen ilmanvaihdon moottoripellit, lämpötila-anturit, jonkin aineen pitoisuutta ilmassa mittaavat anturit (esim. hiilidioksidi, hiilimonoksidi) ja liikkeentunnistimet. Yleisesti ottaen kaikki automaatiourakkaan kuuluvat laitteet on oltava merkittynä tasopiirustuksissa.

Säätökaaviot tulee suunnitella kaikista automaatiota vaativista LVI-järjestelmistä. Tärkeimpiä ovat lämmitys-, jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmät. Käyttöveden kuluusta saatetaan myös mitata automaatiojärjestelmällä. Säätökaavioista tulee tarkastaa se, että ne vastaavat järjestelmien kytkentäkaavioita sekä se, että fyysiset valvontapisteet ja ohjelmalliset toiminnot on merkitty oikein ja oikeille alakeskuksille. Ryhmäkeskus ja ohjauskeskusten merkinnät sekä johdotusten urakkarajat on myös tarkastettava säätökaavioista. Säädetävien laitteiden säätökäyrät tulisi olla esitettynä kaavioissa.

Toimintaselostuksista tulee tarkastaa niiden vastaavuus säätökaavioihin ja laitteiden suunniteltuun toimintaan. Toimintaselostuksessa on myös esitettävä säätökaavion laitteille toiminta-arvoja. Laiteluettelossa on oltava merkittynä kaikki säätökaaviossa olevat automaatiolaitteet hankintarajoihin. Laiteluettelojen, toimintaselostusten ja säätökaavioiden laitteiden tunnusten tulisi olla keskenään yhteensopivia sekaannusten välttämiseksi. Toimintaselostuksista on myös tarkastettava, että on viitattu oikeisiin tapahtumaohjelmiin oikeilla numeroilla. Lisäksi tapahtumaohjelmien vastaavuus suunniteltavan rakennuksen toimintaan tulisi tarkastaa.

Venttiililuettelossa eritellään kaikki LVI-järjestelmissä olevat säätöventtiilit. Säätöventtiileistä ilmoitetaan laitetunnus, säätökohde, alakeskus, mihin kytketään, venttiilin tyyppi, koko sekä toiminta-arvot. Täytyy tarkastaa, että kaikki venttiilit on merkitty ja se, että kaikki edellä mainitut esitettävät asiat ovat kunnossa.

Automaatiosuunnitelmien on vastattava LVI- ja sähkösuunnitelmia. LVI-laiteluettelosta tulee tarkastaa, että automaatiosuunnitelmiin on huomioitu kaikki automaatiota vaativat laitteet. Sähkösuunnitelmiin automaatio vaikuttaa mm. valaistuksen ohjauksen kautta. Valaistusta ohjataan yleensä läsnäolotunnistinten perusteella.

#### 4.4 Edut ja haitat

Suunnitelmien tarkastustoiminnasta on haastatteluissa tullut esille huomattavasti enemmän etuja kuin haittoja. Eniten hyötyä tarkastuksesta on tilaajalle sekä suunnittelijalle, koska suunnitelmien puutteista ja muutoksista aiheutuvat lisäkustannukset pysyvät kurissa. Oikeellisilla suunnitelmilla pystytään myös toteuttamaan rakennus alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti, eikä lisäsuunnittelutyötä näin tarvittaisi. Tilaajan hyödyksi voidaan laskea myös pysyminen rakennushankkeen aikataulussa sekä rakennuksen valmistuessa yhtenäinen toimiva rakennus. (Isotalo 2012.) Rahansäästöä tilaajalle sekä suunnittelijalle tulee myös virheiden havaitsemisesta jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmia on helpompi korjata kuin jo rakennettua.

Suunnittelutoimistolle hyötyjä tarkastustoiminnasta ovat parempi imago asiakkaiden sekä muiden rakennushankkeen osapuolten silmissä, laadukkaat suunnitelmat tilaajalle ja sitä kautta asiakastyytyväisyys. Tyytyväinen asiakas käyttää mielellään saman suunnittelutoimiston palveluja jatkossakin, jos suunnitelmat ovat laadukkaat ja oikeelliset. Suunnittelutoimistolle tulee kustannussäästöä suunnitteluvirheiden seurauksina olevien reklamaatioiden määrän vähentymisenä sekä projektipäällikön ja suunnittelijoiden vähentyneinä työmäärinä. Vähentyneet työmäärät saavutetaan järjestelmällisellä ja optimoidulla tarkastustoiminnalla, jossa jokainen osapuoli tietää, mitä tehdä. Suunnittelutoimistolle voi olla tarkastuksesta haittaa tilanteessa, jossa tarkastus ajoittuu sellaiseen ajanjaksoon, jolloin suunnittelijat ovat jo kiireisiä suunnitellessaan seuraavaa kohdetta (Rinamo 2012).

### 5 TARKASTUSTOIMINNAN TESTAUS

Tarkastustoimintaa käydään läpi esimerkkiprojektin avulla, joka on tällä hetkellä suunnitelmien tarkastusvaiheessa. Kohteen rakentaminen ja suunnittelu on jaettu kahteen vaiheeseen: ensiksi tehdään pysäköintitilat ja osa teknisistä tiloista molemmille rakennuksille ja toinen rakennus. Opinnäytetyöhön on otettu mukaan vain ensimmäisen vaiheen suunnitelmat. Ensimmäisen vaiheen suunnitelmat lähetettiin urakkalaskentaan helmikuussa 2012.

Tarkoituksena on käydä kaikki LVIA-suunnitelmat läpi ja etsiä niistä virheitä käyttäen toimeksiantajalle kehitettyä tarkastuslomaketta ja omatarkastuslistaa. Tarkoituksena

on myös pohtia samalla lomakkeen ja omatarkastuslistan sisältöä ja miettiä niiden toimivuutta projektin avulla.

## **5.1 Kuvaus kohderakennuksen LVIA-järjestelmistä**

Kohde on rakennustilavuudeltaan noin 50 000 m<sup>3</sup> toimistorakennus, jossa on toimisto-, keittiö-, ravintola-, aula-, parkkihalli-, juhlapalvelu-, väestönsuoja- ja WC-tiloja. Edellä mainittujen tilojen asettamat vaatimukset LVIA-järjestelmille tekevät suunnittelutyöstä haastavaa ja vaativaa. Järjestelmät ovat monimutkaisia suunnitella ja toteuttaa, joten suunnittelussa ja tulevassa rakennusvaiheessa tulee olla erittäin tarkkana, jotta saadaan aikaan toimiva kokonaisuus.

### **5.1.1 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät**

Kohteen lämmönlähteenä on kaukolämmitys, johon liitettäväksi on suunniteltu kolme eri lämmönsiirrintä: käyttöveden, ilmanvaihdon lämmityksen ja patterilämmityksen. Käyttöveden lämmönsiirtimen lämpötilaohjelma on ensiöpuolella 70/25 °C ja toisiopuolella 10 / 58 °C. Ilmanvaihdon ja lämmityksen lämmönsiirtimien lämpötilaohjelmat ovat ensiöpuolella 115 / 45 °C ja toisiopuolella 40 / 70 °C.

Ilmanvaihdon lämmitysverkkoon tullaan liittämään rakennuksen ilmanvaihtokoneet lukuun ottamatta porraskäytäviä palvelevia pakettikoneita. Lisäksi siihen on suunniteltu liitettäväksi lämminilmakojeita, tuulikaappikojeita sekä kaksi kiertoilmakojetta, jotka lämmittävät rakennuksen eri puolille tulevia korkeita aulatiloja. Kiertoilmakojien ilmanjako aulatiloihin on suunniteltu tapahtuvan niihin rakennettavien ilmanvaihtopilarien kautta; pilarit ovat halkaisijaltaan n. 400 mm teräsputkea, johon tehdään vaihteleva määrä reikiä korkeudesta riippuen. Lämminilmakojeet on suunniteltu lämmittämään kellarikerroksien pysäköintitiloja. Lisälämmitystä pysäköintitiloihin tullaan tuottamaan myös niiden yhteydessä sijaitsevien teknisten tilojen jäähdytyslaitteiden lauhdelämmön talteenotolla. Puhallinpatterit jäähdyttävät teknistä tilaa, ja pysäköintitilojen puolella sijaitsevat kompressorilauhdutinyksiköt puhaltavat lauhdelämpöä niihin.

Patterilämmitysverkosto on suunniteltu käännetyn paluun periaatteella. Siihen tullaan liittämään radiaattoreita ja konvektoreja. Konvektorit tulevat lisälämmitystekniseksi au-

latiloihin sekä lämmittämään yläkertaan rakennettavia edustustiloja. Radiaattoreita on sijoitettu toimisto-, väestönsuoja-, porras- ja käytävätiloihin.

Rakennus on suunniteltu liitettäväksi Helsingin Energian kaukojäähdytysverkkoon. Kaukojäähdytykseen liitettäväksi on suunniteltu rakennuksen kaksi eri jäähdytysverkostoa: ilmanvaihdon jäähdytys ja palkkijäähdytys. Molemmille verkostoille on omat lämmönsiirtimensä. Sähköpääkeskuksia ja teletiloja, joihin vesiputkia ei suositella asennettavaksi, jäähdytetään split-yksiköillä suorahöyrystysperiaatteella. Lämmönjakohuoneen jäähdytys on myös toteutettu edellä mainitulla yhdistelmällä.

Ilmanvaihdon jäähdytysverkostoon tullaan liittämään aulatiloja jäähdyttävät kiertoilmakojet ja kaikki ilmanvaihtokoneet lukuun ottamatta pysäköintitiloja ja portaikkoja palvelevia koneita. Portaikkojen ja pysäköintitilojen tuloilmaa ei tulla jäähdyttämään, koska ne eivät ole oleskelutiloja. Verkostoon liitetään myös keittiötilojen tuloilmaa jäähdyttävät jälkijäähdytyspatterit.

Palkkiverkostoon on liitetty ilmastointipalkkien lisäksi myös neuvotteluhuoneiden kiertoilmajäähdyttimiä sekä tulpattuja varauksia puhallinkonvektoreille toimistokerrosten sähkö/ATK tiloihin. Käytettävät ilmastointipalkit ovat ns. aktiivipalkkeja eli ne toimivat jäähdytyksen ohella myös tuloilmalaitteina. Kiertoilmajäähdyttimet jäähdyttävät huoneen sisäilmaa kierrättämällä sitä jäähdytyspatterin lävitse.

### **5.1.2 Vesi- ja viemärijärjestelmät**

Rakennuksen vesi- ja viemärijärjestelmä on suunniteltu liitettäväksi kaupungin vesi- ja viemäriverkostoon. Rakennuksen kaikki vesijohdot on suunniteltu kupariputkiksi. Vesikalusteista WC-istuimet ja pesualtaat on suunniteltu IDO:n tuotteilla ja hanat sekä kastelupostit Oraksen tuotteilla toteutettaviksi. Kohteessa on myös pikapaloposteja sekä erilaisia keittiöihin sijoitettavia vesikalusteita, mm. jääpalakone, vedenjakelin ja esipesusekoitin.

Viemärijärjestelmään on täytynyt suunnitella jätevesipumppaamo johtuen padotuskorkeuden alittavista kellarikerroksista. Pumppaamo palvelee vain padotuskorkeuden alittavia kellarikerroksia. Padotuskorkeuden yläpuolella olevat kerrokset on suunnitel-

tu viettoviemärinä kaupungin liitoskohtaan. Rakennuksen kuivatusvesille on kellari-kerrosten korkeusasemasta johtuen suunniteltu perusvesipumppaamo.

Viemäriputkimateriaalina on rakennuksen sisällä käytetty valurautaa ja ruostumatonta terästä sekä rasvaviemäreissä ja paineviemäreissä haponkestävää terästä. Ruostumatonta terästä on käytetty DN 150 ja sitä suuremmissa viemäreissä. Rakennukseen on suunniteltu myös polttonesteiden-, rasvan- ja hiekanerottimet. Näiden tyhjennysputkien materiaalina on ruostumaton teräs. Kupariputkia käytetään jäähdytyslaitteiden kondenssiviemäreissä. Ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspatterien kondenssivesien viemärintiin käytetään muoviviemäriputkea. Rakennuksen ulkopuolisten pohjaviemäreiden materiaalina tullaan käyttämään PE-muoviviemäriputkea hitsausliitoksin.

Sadevedet on viemäroity kaupungin sadevesiviemäriin. Sadevesiviemärien putkimateriaalina rakennuksen sisällä on valurautaa ja ruostumatonta terästä. Ruostumatonta terästä on suunniteltu käytettävän DN 150 ja sitä suuremmissa viemäriputkissa. Rakennuksen sadevesien pohjaviemärit on suunniteltu PP-muoviviemäriputkeksi. Piha-alueella sadevesiviemäreissä tullaan käyttämään PEH-muoviviemäriputkea.

### **5.1.3 Ilmastointijärjestelmät**

Rakennuksen kaikki ilmanvaihtokoneet sijaitsevat ullakolla ilmanvaihtokonehuoneessa portaikkojen ilmanvaihtokoneita lukuun ottamatta. Ilmanvaihtokoneiden palvelualueet on jaettu rakennuksen tilojen käyttötarkoitusten mukaisesti. Rakennuksessa on seitsemän yli  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirran tuottavaa ilmanvaihtokonetta. Molemmille portaikoille on omat alle  $100 \text{ dm}^3/\text{s}$  tuottavat ilmanvaihtokoneet. Lisäksi rakennuksessa on muutama teknisiä tiloja palveleva huippuimuri.

Kohteessa on kaksi porraskäytävää, joilla molemmilla on oma ilmanvaihtokoneensa. Koneiksi on suunniteltu Swegonin Casa 440-pakettikoneet. Niiden käyntiä ohjataan aikaohjelmalla ja ulkoilmanlämpötilan mukaan. Ulkoilmanlämpötilan laskiessa tietyn raja-arvon alapuolelle koneiden pyörimisnopeus puolittuu. Koneiden tuloilmaa lämmitetään ristivirtausperiaatteella toimivalla lämmöntalteenottokennolla ja sen jälkeisellä sähkövastuksella.

Pysäköintitiloille on kaksi lähes identtistä regeneratiivisella lämmöntalteenotolla varustettua ilmanvaihtokonetta. Koneiden ilmavirtojen säätö tapahtuu pysäköintitilojen CO-pitoisuuden mukaan. Pysäköintitilojen koneiden tuloilmaa lämmitetään mutta ei jäähdytetä erikseen. Tilojen savunpoisto on toteutettu kolmella savunpoistopuhaltimella, jotka käynnistyvät omista käsikytkimistään. Suuntapainepuhaltimet, jotka puhaltaavat savunpoistopuhaltimiin päin, käynnistyvät myös samojen käsikytkimien ohjaamina.

Toimistotiloille on kaksi ilmanvaihtokonetta. Koneiden vaikutusalueet on jaettu etelä- ja pohjoispuolen toimistoihin. Eteläpuolen koneelta menee tuloilmaa myös toiselle aulaa palvelevista kiertoilmakojeista. Molemmat koneet on varustettu regeneratiivisella lämmöntalteenotolla ja tuloilman jäähdytyksellä ja lämmityksellä. Koneita ohjataan valvontajärjestelmän aikaohjelmalla ja kerroksissa olevilla läsnäoloantureilla. Läsnäoloanturit ohjaavat ainoastaan aikaohjelman ulkopuolella. Käytävä- ja WC-tiloille on oma ilmanvaihtokoneensa, jossa on rekuperatiivinen lämmöntalteenotto. Rakennusautomaatiojärjestelmän aikaohjelma ohjaa tämän koneen käyntiä. Koneessa on tuloilman lämmitys ja jäähdytys.

Rakennuksessa on kaksi erillistä keittiö- ja ravintolatilaa; molemmille on suunniteltu omat ilmanvaihtokoneensa. Koneita ohjataan aikaohjelmalla, mutta ne on mahdollista saada päälle ohjelman ulkopuolella myös käsikäyttökytkimestä. Ilmavirran säätö tapahtuu ruokailutilojen CO<sub>2</sub>-pitoisuuden perusteella. Molemmat koneet on varustettu nestekiertoisella lämmöntalteenotolla poistoilman epäpuhtauksien takia. Lämmöntalteenottoverkostossa virtaava neste on 35 % vesi-glykoliseosta. Ilmanvaihtokoneiden poistoilmapuolilla on lämmöntalteenottopatterit, jotka ottavat lämpöä talteen ravintolatilojen poistoilmasta. Keittiöiden rasvainen poistoilma viedään vesikatolle LTO-huippuimureilla, joissa on sisäänrakennettuna lämpöä talteenottavat neulalämmönsiirtimet. Neulalämmönsiirtimissä lämmennyt vesi-glykoliseos virtaa ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottopattereille lämmittäen tuloilmaa. Neulalämmönsiirtimillä saadaan poistoilmasta talteenotettua lämpöenergiaa noin 45-60 %. Keittiöiden viilennys tapahtuu tuloilmakanavissa sijaitsevilla jälkijäähdytyspattereilla. Alakerran keittiö/ravintolatilan ilmanvaihtokoneelta menee myös toiselle aulaa palvelevista kiertoilmakojeista tuloilmaa.

### **5.1.4 Rakennusautomaatiojärjestelmät**

Rakennusautomaatiojärjestelmän valvomo sijoitetaan ilmanvaihtokonehuoneeseen, josta koko rakennuksen toimintaa tullaan ohjaamaan. Järjestelmän ala- ja ryhmäkeskukset sijaitsevat IV-konehuoneessa ja lämmönjakohuoneessa. Kerrokset on jaettu kellarin ja ilmanvaihtokonehuoneen ryhmäkeskuksille siten, että viisi ylintä kerrosta kuuluvat ilmanvaihtokonehuoneen ryhmäkeskukselle ja loput kerrokset lämmönjakohuoneen keskukselle. Kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitteet on kytketty lämmönjakohuoneen alakeskukseen. Ilmanvaihtokoneet on kytketty portaikkojen koneita lukuun ottamatta ilmanvaihtokonehuoneen alakeskukseen. Kaikissa kerroksissa on oma reittiin, joihin kerroksien huonesäätimet sekä muut rakennusautomaatiolaitteet on kytketty.

## **5.2 Kohderakennuksen suunnitelmista löytyneet puutteet**

Suunnitteludokumentit olivat tarkastusajankohtana (helmikuu 2012) vielä keskeneräiset. Tarkastettavat suunnitteludokumentit olivat tilaajalle kommentoitavaksi lähetettävät suunnitelmat. Samassa vaiheessa olevia suunnitteludokumentteja on tarkasteltu tilaajan kanssa pidetyssä suunnitelmakatselmuksessa. Suunnitelmakatselmuksessa oli tullut esille osittain samoja asioita, kuin mitä itse olin tarkastamalla havainnut. Havaittuja puutteita käydään läpi piirustusluettelon mukaisesti järjestelmittäin.

### **5.2.1 Yhteiset piirustukset**

Piirustusluettelon merkinnät poikkesivat leikkauspiirustusten nimiöiden osalta toisistaan. LVIA-työselityksestä löytyi ristiriidassa olevia asioita tasopiirustusten kanssa. Maanrakennusurakan työselityksestä ja LVIA-työselityksestä löytyi myös ristiriitoja käytettävien viemäriputkimateriaalien osalta. LVI-laiteluettelossa on ilmoitettu yksittäisten ilmanvaihtokoneiden lämmityspumpuille ja jäähdytyspattereille hieman poikkeavat virtaamat niiden kytkentäkaavioihin nähden.

### **5.2.2 Maanrakennus**

Asemapiirustuksesta puuttui merkintä vesimittarin sijoituksesta rakennuksessa. Rakennuksen perusmuurin lävistävästä sadevesiviemäriputkesta puuttui tarkastuskaivo.

Rakennusten perustusten kuivatusveden pumppaamolle tulevan viemäriputken putkikokoa ei ollut merkitty tasopiirustukseen.

### 5.2.3 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Lämmityspatterin patterimerkintä oli jäänyt osittain tulostusalueen ulkopuolelle yhdessä tasopiirustuksessa. Kellarikerroksen siivouskomerosta puuttui lämmityspatteri. Kellarikerroksien lämpöjohtojen runkoputkistoissa oli liian vähäinen määrä sulkuventtiilejä huollettavuuden kannalta. Kaukokylmän ja –lämmön ensiöpuolen putkistot puuttuivat lämmönjakohuoneen tasopiirustuksesta. Kaukojäähdytyksen jäähdytyspalkkiverkoston pumpun ja lämmönsiirtimen virtaamissa oli poikkeavuutta toisiinsa nähden. KytKentäkaavioon oli epähuomiossa ilmoitettu ilmanvaihtokoneiden ja palkkien pumpuille samat virtaamat. Lämpimän käyttöveden kiertovesipumpun virtaamalle oli ilmoitettu laiteluettelossa ja kaukolämmönkytkentäkaaviossa toisistaan poikkeavat arvot. Ilmanvaihtokoneiden lämmitysverkoston pumpun nostokorkeuden laskennassa on tapahtunut virheitä. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kytKentäkaavioista puuttuvat menoveden lämpötilan säätökäyrät.

Tasopiirustuksiin oli jäänyt ylimääräisiä arkkitehdin mittamerkintöjä, jotka häiritsivät piirustuksen luettavuutta. Piirustusten merkinnöissä oli myös puutteita merkintäselosteen ja putkikokojen sekä venttiilien esisäätöarvojen osalta. Yhteen piirustukseen oli jäänyt joistain aikaisemmista suunnitelmista kopioitu merkintäseloste. Putkikokomerkintöjä puuttui muutaman kerroksen piirustuksista. Muutaman jäähdytyspalkin säätöventtiilin esisäätöarvon ja virtaaman merkintä oli myös unohtunut tasopiirustuksista. Toimilaitteella varustettuja patteriventtiilejä on merkitty käytettäväksi pattereihin, jotka sijaitsevat tiloissa, joissa ei ole jäähdytyslaitteita. Toimilaitteen sijaan tulisi käyttää termostaattisia patteriventtiilejä.

### 5.2.4 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Vesijohtosuunnitelmissa ongelmana oli liian pieni staattinen paine-ero. Rakennuksen korkeudesta johtuen vesijohtoverkostossa ei riittänyt painetta ylimpiin kerroksiin riittävästi. Vesijohtoverkoston lisättiin paineenkorotuspumppu sekä alempiin kerroksiin paineenalennusventtiilit niiden liian korkean painetason seurauksena. Tasopiirustuksessa siivouskomeroon oli merkitty kaluste, jota ei ollut ilmoitettu kalusteluettelossa.



Viemäröinnin suhteen puutteita oli ulkoilmakammion ja jäähdytyslaitteiden kondenssivesien viemäröinnissä. Ulkoilmakammioon ei ollut sijoitettu lattiakaivoa. Kondenssiviemäröinnit puuttuivat teknisten tilojen suoraohyrystyspattereilta sekä keittiöiden tuloilmaa jäähdyttäviltä jälkijäähdytyspattereilta.

Tasopiirustusten piirustusmerkinnät olivat siistejä ja luettavia. Joitakin epäselvyyksiä ja puutteita kuitenkin löytyi. Muutamista vesijohdoista puuttui putkikoot sekä viemärinousujen merkinnät olivat hieman epäselviä joissain tapauksissa. Yhden lämpimän veden kiertojohdon linjasäätöventtiilin mitoitusarvot puuttuivat tasopiirustuksesta.

### **5.2.5 Ilmastointijärjestelmät**

Ilmastointisuunnitelmissa oli puutteita puhdistusluukkujen määrässä, varsinkin kellarikerroksissa. Palo-osastointien huomioimisessa havaittiin myös puutteita. Väestönsuojassa oli joissain kanavissa palopellit, mutta suurimmasta osasta väestönsuojan kanavista ne puuttuivat. Pohjapiirustuksiin tulleet muutokset olivat jääneet huomioimatta joissain ilmanvaihtotasopiirustuksissa, jotkut päätelaitteet olivat jääneet seinärakenteen sisälle muutosten seurauksina. Yksi jäähdytyspalkki oli myös unohdettu liittää kerroksen runkokanavaan. Tuloilmalaitteelle oli myös suunniteltu päätelaitteen liitoskokoa suurempi kytkentäkanava. Kanavistojen yhtenäisyydessä oli myös puutteita. Suunnitteluohjelma ei pystynyt tarkasti laskemaan ilmanvaihtokanavistojen painehäviöitä, koska tieto ilmavirrasta ei siirry kanavistossa ilmanvaihtokoneella asti. Tällä on vaikutusta puhaltimien paineenkorotuksen laskemisessa.

Tasopiirustuksista puuttui jonkin verran tarvittavia merkintöjä. Puuttuvia merkintöjä olivat muutamien päätelaitteiden sekä jäähdytyspalkkien tyypit ja ilmavirrat. Tasopiirustuksista puuttui myös kanavakokoja ja virtausnuolia. Ilmastointi- ja lämpökuvien merkintäselosteissa oli myös ristiriitoja jäähdytyspalkkien tehojen ja ilmavirtojen osalta. Ilmanvaihtokaaviossa molemmille kiertoilmakojeille oli suunniteltu tuloilmaa toiselta ilmanvaihtokoneelta, mutta rakennusautomaatiosuunnitelmista oli poistettu toiselta kiertoilmakojeelta tuloilmakanavat.

### 5.2.6 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Rakennusautomaation sijaintipiirustuksista puuttui muutamia toimilaitteita lämmityspattereilta sekä jäähdytyspalkeilta. Sijaintipiirustuksiin oli merkitty sadevesipumppaamo, vaikka rakennuksessa on vain perusvesi- ja jätevesipumppaamot. Pumppaamojen sijainti poikkesi jonkin verran vesi- ja viemäritasopiirustuksista.

LVI-laitteiden säätökaavioissa oli ristiriitoja laiteluetteloiden ja toimintaselostusten kesken. Laitteiden tunnuksot poikkesivat toisistaan edellä mainituissa suunnitelmissa. Automaatiotoimilaitteiden tyypit olivat laiteluetteloissa erilaiset kuin mitä säätökaavioissa oli esitetty. Eroja oli mm. säätöventtiilien tyypeissä, kaksitie- ja kolmitieventtiilit olivat menneet ristiin. Automaatiolaiteluetteloissa puuttui säätökaavioissa esitettyjä laitteita. Ilmanvaihtokoneiden tuloilman sisäänpuhalluslämpötila mainittiin toimintaselostuksissa menevän säätökäyrien mukaisesti, mutta säätökäyriä ei löytynyt kaikkien selostuksista. Yhdessä ilmanvaihtokoneessa sisäänpuhalluslämpötila oli merkitty vakioiksi, mutta sitä ei ollut ilmoitettu suunnitelmissa. Samoista LVI-laitteista oli rakennusautomaatiosuunnitelmissa ja LVI-laiteluettelossa käytetty poikkeavia merkintöjä. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen kytkentäkaaviot olivat osittain ristiriidassa säätökaavioiden kanssa. Muuntamon kanavapuhaltimille oli LVI-laiteluettelossa ilmoitettu 1/1 ja 1/2 nopeudet, mutta näitä ei säätökaaviossa ollut huomioitu. LVI-laiteluettelossa oli myös muuntamoon sijoitettu moottoripellit ulko- ja poistoilmalle sekä suodatin ulkoilmakanavaan, säätökaaviosta ne puuttuivat.

### 5.2.7 Suunnitelmien yhteensopivuus

Suunnitelmien yhteensopivuus oli suunnitteludokumenteissa huomioitu suhteellisen hyvin. Sähkösuunnittelijat olivat käyttäneet todellisia LVI-laitteiden sähkötehoja omissa suunnitelmissaan. Rakennusautomaatiosuunnitelmissa toimilaitteet ynnä muut laitteet olivat riittävällä tarkkuudella samoilla paikoilla. Talotekniikkajärjestelmien välisien törmäystarkastelujen tarkastuksessa löytyi joitakin järjestelmien välisiä risteylyjä. Lämmityspotket ja ilmanvaihtokanavat menivät muutamissa kohdissa toistensa kanssa ristiin. Risteylyjä oli myös viemärien ja ilmanvaihtokanavien sekä ilmanvaihtokanavien ja vesijohtojen että valaisimien ja ilmanvaihdon päätelaitteiden kesken. Suurimmilta osin suunnitelmat olivat kuitenkin tasopiirustusten perusteella asennettavia.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyöprosessin aikana on tullut selväksi, että suunnitelmien tarkastustoiminnalle on tarvetta suunnittelutoimistossa. Suunnitteludokumentteja tarkastamalla sekä haastattelujen perusteella on havaittu, että tarkastustoiminnalle on tilaus. Tarkastustoiminnan tärkeimpinä hyötyinä ovat suunnittelutoimistolle, tilaajalle sekä urakoitsijalle aiheutuvat kustannussäästöt (Ylikauppila 2012). Suunnitteludokumenttien puutteista aiheutuu kaikille rakennushankkeen osapuolille lisäkustannuksia.

Suunnittelun lähtötiedot tulisi tarkastaa tilaajan vaatimusten mukaisiksi jo ennen varsinaisen suunnittelutyön aloittamista. Suunnitteludokumentit tulisi tarkastaa ennen urakkalaskentavaihetta, koska suunnitelmien korjaaminen urakkalaskentavaiheen aikana aiheuttaa viivästyksiä rakentamisen aikatauluun. Viivästyksistä aiheutuu tilaajalle lisäkustannuksia (Isotalo 2012). Suunnittelijalla on korvausvelvollisuus suunnitelmien myöhästymisestä aiheutuvista kustannuksista, mutta usein tämä korvaus ei riitä kattamaan tilaajalle aiheutuvia todellisia kustannuksia (Torkki 2012).

Suunnittelutoimistolle aiheutuu lisäkustannuksia sekä suunnitteluvirheistä että suunnittelun aikataulun pettämisestä. Kaikista suurimmat kustannukset aiheutuvat niistä suunnitteluvirheistä, jotka huomataan vasta talotekniikkaurakkasopimuksen solmimisen jälkeen johtuen lisä- ja muutostöiden kovasta hinnoittelusta. Suunnitteludokumenttien myöhästymisen seurauksena suunnittelijalle aiheutuu KSE 1995:n mukaan korkeintaan 5 % korvausvelvollisuus suunnittelu-urakkahinnasta. (Torkki 2012.)

Urakoitsijalle taloudellisia menetyksiä aiheutuu erityisesti virheistä, joita ei huomata edes rakennusvaiheessa. Tilaaja ei välttämättä suostu korvaamaan kaikkia näistä virheistä aiheutuvia kustannuksia vaan voi vedota Talotekniikka RYL:ssä esitettyyn hyväksytyyn hyvään rakennustapaan. Ongelmat hyväksytyn hyvän rakennustavan noudattamisessa korostuvat varsinkin käytettäessä ulkomaalaista työvoimaa. (Torkki 2012.)

Kehitetyllä tarkastustoiminnalla on vaikutuksia suunnittelutoimistolle, tilaajalle sekä urakoitsijalle. Suunnittelutoimiston luotettavuus ja imago tilaajien sekä urakoitsijoiden keskuudessa kohentuu. Työmaalle saadaan selvemmät, helpommin tulkittavat ja oikeellisemmat suunnitteludokumentit, jotka helpottavat urakoitsijoiden työskentelyä.

Paremmat suunnitelmat vaikuttavat positiivisesti myös rakennuksen kunnossapitohenkilökunnan työhön. Järjestelmien rakentamisajan ja vastaanottotarkastusta edeltävien säättöiden ongelmat vähenevät, koska suunnitteludokumenteissa ilmoitettavat mitoitustiedot tulevat vastaamaan paremmin todellista tilannetta (Torkki 2012).

Suunnittelutoimistolle säästöä saadaan vähentyneenä suunnittelijan työnä sekä suunnitteluvirhemaksujen vähentymisenä. Onnistuneen tarkastustoiminnan seurauksena suunnittelijan omaa työtä säästyy noin 50–100 tuntia/kohde, koska suunnitelmiin ei tarvitsisi enää tehdä suunnitteluvirheistä johtuvia muutoksia urakkalaskenta-aikana. Suunnitteluvirhemaksujen aiheuttamista lisäkustannuksista on mahdollista saada säästöä noin 5000 €/kohde (alv 0 %) tarkastustoiminnalla. Tarkastustoiminnasta aiheutuvat säästöt ovat huomattavasti suurempia kuin tarkastustoiminnan kustannukset, jotka ovat noin 15 % säästöistä. (Torkki 2012.)

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät. Opinnäytetyön tekemisestä on ollut minulle itselleni hyvin paljon hyötyä sekä LVIA-suunnitteluprosessin sisäistämisessä että suunnitelmien ja niissä esitettävien asioiden ymmärtämisessä. LVIA-suunnitelmien tarkastaminen sekä tarkastuksen puutteellisuudesta johtuvat seuraukset ovat selventyneet minulle itselleni ja toimeksiantajalle. Suunnittelutoimiston opinnäytetyön ohessa tilaamat asiakirjat on saatu valmiiksi, ja suunnittelutoimiston LVIA-suunnitelmien tarkastustoimintaa on onnistuttu kehittämään. Myös suunnitteluohjelman tarkastusominaisuuksia on opittu hyödyntämään aikaisempaa paremmin. Suurimpana haasteena opinnäytetyön tekemisessä olivat toimeksiantajalle kehitetyt asiakirjat sekä MagiCADin ominaisuuksien hyödyntäminen kehitetyssä tarkastuslomakkeessa. Ominaisuuksia onnistuttiin hyödyntämään sekä tarkastusasiakirjat saatiin tehtyä tarkoituksenmukaisiksi.

## LÄHTEET

D1 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, määräykset ja ohjeet. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 2.3.2012.

D2 2010. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 2.3.2012.

D3 2012. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoa. Luettu 2.3.2012.

Isotalo, Jukka 2012. Haastattelu 20.3.2012. NCC -rakennus Oy. Talotekniikka-asiantuntija.

Järvinen ym. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 4. Talotekninen suunnittelu. PDF-dokumentti. [http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_4\\_tate.pdf](http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_4_tate.pdf). Julkaistu 27.3.2012. Luettu 3.4.2012.

K1/2003. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus ry. [http://www.energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2003\\_04072007\\_0.pdf](http://www.energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2003_04072007_0.pdf). Päivitetty 4.7.2007. Luettu 13.3.2012.

KJ1/2010. Rakennusten kaukojäähdytys, yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. Helsingin Energia. [http://www.helen.fi/pdf/kj/fi/KJ1\\_2010\\_1.pdf](http://www.helen.fi/pdf/kj/fi/KJ1_2010_1.pdf). Päivitetty 11.1.2011. Luettu 20.3.2012.

Pietiläinen ym. 2007. ToVa-käsikirja, rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Helsinki: Edita Prima Oy.

LVI-TU ry 2011. Talotekniikka-alan, LVI-toimialan, Työehtosopimus 2011-2012. LVI-Tekniset Urakoitsijat.

Mäkinen, Pekka & Railio, Jorma (toim.) 2004. SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. PDF-dokumentti. <http://www.flaktwoods.fi/476d6be3-be6e-42e9-bd82-6152ff71a7aa>. Ei päivitystietoa. Luettu 19.3.2012.

Nuora, Harri 2008. Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Onninen Oy 2012. Ohjehinnastot, LV-tuotteet. Excel-tiedosto. [http://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Excel\\_Pricelists/LV-tuotteet-sap.xls](http://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Excel_Pricelists/LV-tuotteet-sap.xls). Päivitetty 1.3.2012. Luettu 10.3.2012.

Petitjean, Robert 2004. Total hydronic balancing, A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems. Ljung: Tour & Andersson AB.

Rinamo, Kim 2012. Haastattelu 8.2.2012. Optiplan Oy. Suunnittelija.

Räisä, Jukka 2012. Haastattelu 21.2.2012. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Lehtori.

Sarkki, Jukka & Sarkki, Yrjö (toim.) 2011. LVI-kalenteri 2012. Helsinki: Suomen Kalenterit Oy.

Senewa Oy 1996. Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohje. LVI-ohjekortti 40-10250. Rakennustieto Oy.

Senewa Oy 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. LVI-ohjekortti 12-10343. Rakennustieto Oy.

Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.

Sjögren, Erno 2010. LVI-suunnitelmien tarkastusasiakirja. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.

TA 2011. Säästöpiirien säätäminen. Tour Andersson AB. PDF-dokumentti. [http://www.vantalvi.fi/uploads/files/TA\\_KIRJA\\_\\_3\\_2011.pdf](http://www.vantalvi.fi/uploads/files/TA_KIRJA__3_2011.pdf). Ei päivitystietoa. Luetu 12.3.2011.

Torkki, Antti 2012. Haastattelu 3.4.2012. Optiplan Oy. Toimialajohtaja.

Tuunanen, Jarmo 2012. Haastattelu 22.2.2012. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Lehtori.

Ylikauppila, Mika 2012. Haastattelu 22.3.2012. Optiplan Oy. Ryhmäpäällikkö.